
Optimierte Nutzung von Umfelddaten in der Verkehrsbeeinflussung

Fachveröffentlichung der
Bundesanstalt für
Straßenwesen

Optimierte Nutzung von Umfelddaten in der Verkehrsbeeinflussung

von

Christoph Schwietering Johannes Füg, Florian Kretschmann
Schwietering Ingenieure GmbH, Aachen

Stefan Trupat, Jule Rump
SSP Consult Beratende Ingenieure GmbH, Köln

Impressum

Fachveröffentlichung zum Forschungsprojekt: 03.0567
Optimierte Nutzung von Umfelddaten in der Verkehrsbeeinflussung

Fachbetreuung:
Sandra Eimermacher

Referat:
Verkehrsbeeinflussung und Straßenbetrieb

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

<https://doi.org/10.60850/fv-v1>

Bergisch Gladbach, Juli 2024

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.

Kurzfassung

Zur Steigerung der Verkehrssicherheit und der Verkehrsqualität stellen Streckenbeeinflussungsanlagen auf Bundesautobahnen ein wirksames Mittel dar. Einige neue Situationserkennungsverfahren und die daraus resultierenden Maßnahmen wurden in die Aktualisierung des Merkblattes für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Untereinheiten (MARZ) Ausgabe 2018 übernommen. Bis auf wenige Ausnahmen werden dabei allerdings rein verkehrliche oder rein witterungsbedingte Szenarien betrachtet. Zudem sind der witterungsbedingte Einfluss auf den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit sowie die Wirkung von witterungsbedingten Maßnahmen durch Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) nur wenig erforscht.

Ziel dieses Projektes war es die Wirkungen der Witterung auf den Verkehrsablauf und die Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen bei widrigen Witterungsbedingungen zu untersuchen.

Die Witterung hat einen bedeutenden Einfluss auf das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer und damit auch auf den Verkehrsablauf. Da widrige Witterungsbedingungen in der Regel zeitlich beschränkt und vergleichsweise selten auftreten, gab es bislang wenig verfügbare statistisch abgesicherte Erkenntnisse zur Wirkung von Witterungsereignissen auf den Verkehrsablauf sowie zur Wirksamkeit von Streckenbeeinflussungsanlagen bei widrigen Witterungsbedingungen.

Daher wurden für 22 Messquerschnitte (MQ) in Streckenbeeinflussungsanlagen und 11 unbeeinflusste MQ, verteilt auf fünf Bundesländer, für den Zeitraum von zwei Jahren (01.07.2019 bis 30.06.2021) Verkehrsdaten gesammelt und um Umfelddaten sowie Schaltdaten ergänzt. Zur Analyse wurden aus der Kombination der Messquerschnitte sowie der Umfelddatensensorik insgesamt 38 sog. Standorte gebildet (s. Anhang 8), für welche Verkehrs-, Umfeld- und ggf. Schaltdaten zugeordnet wurden. Zu den Standorten wurden Merkmale wie Streifigkeit, verkehrliche Funktion des Streckenabschnitts oder Fahrbahnoberflächenmaterial als sog. Metadaten zugeordnet und in einer Datenbank abgelegt.

Aufbauend auf den Auswertungen der Thesen wurden beispielhaft für die Streckenbeeinflussungsmaßnahme „Harmonisierung des Verkehrsablaufs“ untersucht, wie die Erkenntnisse zur Optimierung dieser Maßnahme beitragen können. Dazu wurde ein Konzept entwickelt, welches in bestehende Streckenbeeinflussungsanlagen nach MARZ integriert werden kann. Das Konzept sieht vor, in Zeiten von Nässeereignissen oder geringer Sichtweite die Schwellenwerte für die Ein- und Ausschaltbedingungen für die „Harmonisierung des Verkehrsablaufs“ anzupassen. Um den Pflegeaufwand der Parameter nicht durch zusätzliche Parametersätze deutlich zu erhöhen, bietet es sich an, Abschlagsfaktoren auf die bereits vorhandenen Parametersätze für ideale Witterungsbedingungen einzusetzen. Die aus den Ergebnissen der Thesenauswertung identifizierten Abschlagsfaktoren für Nässeereignisse oder Ereignisse mit geringer Sichtweite decken sich mit den aus der Literatur bekannten Größenordnungen.

Die Untersuchung konzentrierte sich auf den Aufbau einer Auswertemethodik zur Analyse der witterungsbedingten Einflüsse auf den Verkehrsablauf sowie zur Untersuchung der Wirksamkeit von SBA-Maßnahmen bei widriger Witterung. Die vorliegende Datenbasis sowie das Auswertekonzept können aber zu weiterführenden Analysen und Forschungsarbeiten verwendet werden. Auch seltene Witterungsereignisse wie Schneefall oder vereiste Fahrbahnen können aufgrund der für zwei Jahre vorliegenden Daten untersucht werden, wenngleich es sinnvoll erscheint, die Datenbasis um weitere Winterperioden zu ergänzen.

In einem nächsten Schritt erscheint es zielführend, die Erkenntnisse einerseits in die vorhandenen Wissensdokumente zur Umfelddatenerfassung im Kontext mit Streckenbeeinflussungsanlagen einfließen zu lassen. Andererseits sollte in der Praxis validiert werden, ob sich die Erkenntnisse sowie Optimierungsvorschläge so bestätigen und somit einen wesentlichen Baustein künftiger witterungsbedingter Schaltungen von SBA sein können.

Die vorliegende Untersuchung leistet einen wichtigen Beitrag hinsichtlich der Analyse der Witterungseinflüsse auf den Verkehrsablauf. Zahlreiche vermutete und erwartete Zusammenhänge konnten mit dieser Studie statistisch abgesichert werden und

stehen der Praxis zur Optimierung der Verkehrsbeeinflussung zur Verfügung. Die erarbeitete Daten- und Auswertebasis schafft die Grundlage für weitere Untersuchungen des Witterungseinflusses auf den Verkehrsablauf.

Abstract

Traffic control systems on federal motorways provide an effective means of increasing traffic safety and traffic quality. Some new situation recognition procedures and the resulting traffic measures have been incorporated in the 2018 update of MARZ. However, with a few exceptions, this considers purely traffic or purely weather-related scenarios. In addition, the weather-related impact on the traffic flow and safety as well as the effect of weather-related measures by traffic control systems (SBA) are not currently sufficiently researched.

The objective of this project was to investigate the impact of the weather on traffic flow and the effectiveness of traffic control measures in adverse weather conditions.

The weather has a significant impact on the driving behavior of road users and thus also on the traffic flow. Since adverse weather conditions are usually limited in time and occur comparatively infrequently, there has been little available statistically reliable knowledge on the effect of weather conditions on the traffic flow and the effectiveness of traffic control systems in adverse weather conditions.

For this reason, traffic data were collected for 22 measuring cross sections in traffic control systems and 11 none-controlled measuring cross sections, distributed over 5 federal states in a period of 2 years (01.07.2019 to 30.06.2021) and supplemented by environmental and switching data. For the analysis, by combination of the measuring cross sections and environmental detectors, 38 so-called locations were created (see appendix 8), for which traffic data, environmental data and, if applicable, switching data were assigned. Characteristics such as number of lanes, traffic function of the route section or road surface material were assigned to the locations as so-called meta data and stored in a database.

Based on the evaluations of the theses, an example of the traffic control measure "Harmonization of the traffic flow" was examined to determine how the

findings can contribute to the optimization of this measure. For this purpose, a concept was developed that can be integrated into existing traffic control systems according to MARZ. The concept envisages adapting the threshold values for the switch-on and switch-off conditions for the "harmonization of traffic flow" under wet weather conditions or low visibility. In order not to significantly increase the maintenance effort of the parameters through additional parameter sets, it is advisable to use reduction factors on the already existing parameter sets for ideal weather conditions. The reduction factors identified from the results of the theses evaluation for wet weather or limited visibility conditions coincide with the magnitudes known from the literature.

The investigation focused on the development of an evaluation method to analyze the weather-related influences on the traffic flow as well as to investigate the effectiveness of traffic control measures in adverse weather conditions. The existing database and the evaluation concept can, however, be used for further analyzes and research work. Even rare weather events such as snowfall or icy roads can be investigated based on existing data for a period of two years, although it would seem reasonable to extend the database by adding further winter periods.

In a next step, it seems to be reasonable to incorporate the findings into the existing knowledge documents on environment data acquisition in the context of traffic control systems. On the other hand, it should be validated in practice whether the findings as well as optimization proposals can be confirmed in this way and thus be an essential component of future weather-related switchings of SBA.

The current study makes a significant contribution to the analysis of the weather-related impacts on the traffic flow. Numerous suspected and expected connections could be statistically secured with this study and are available in practice to optimize traffic control. The developed data and evaluation basis creates the basis for further investigations of weather-related impacts on the traffic flow.

Abkürzungen

Abk	Abkürzung
ANOVA	Analysis of variance (zu Deutsch: Varianzanalyse)
AQ	Anzeigenquerschnitt
ASOS	automated surface observing systems
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
FBT	Fahrbahnoberflächentemperatur
FBZ	Fahrbahnzustand
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
HK	Helligkeit
LT	Lufttemperatur
MARZ	Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen
MQ	Messquerschnitt
NI	Niederschlagsintensität
NS	Niederschlagsart
OPA	Offenporiger Asphalt
RLF	Relative Luftfeuchte
RWIS	road weather information systems
RWVZ	Richtlinien für Wechselverkehrszeichenanlagen an Bundesfernstraßen
SBA	Streckenbeeinflussungsanlagen
SST	Streckenstationen
SW	Sichtweite
SWIS	Straßen-Wetter-Informationen-System
SWS	Straßenwetterstation
TTC	Time-To-Collision
UDE	Umfelddatenerfassung
UZ	Unterzentralen
VADb	Verkehrs-Analyse-Datenbank
VBA	Verkehrsbeeinflussungsanlage
VRZ	Verkehrsrechnerzentrale
VZ	Verkehrszeichen
WFD	Wasserfilmdicke
WVZ	Wechselverkehrszeichen
WZG	Wechselzeichengeber

Inhalt

1	Ausgangslage, Zielsetzung und Vorgehensweise	9	4.1.3	Finale Auswahl der weiter zu betrachtenden Wirkungsthesen	37
2	Grundlagen	10	4.2	Erarbeitung von Darstellungsformen für die Auswertung	39
2.1	Einfluss der Witterung auf den Verkehrsablauf	10	5	Implementierung der Auswertedatenbank	42
2.2	Maßnahmen in der Streckenbeeinflussung bei schlechter Witterung	12	5.1	Aufbau der Datenbank	42
2.2.1	Kenngößen zur Beschreibung des Witterungszustandes und deren Plausibilisierung.....	12	5.2	Beschreibung der Datenschnittstellen	42
2.2.2	Schwierigkeiten bei der Erfassung und Auswertung bestimmter Kenngrößen und der Plausibilisierung	14	5.3	Beschreibung der Bedienoberfläche	43
2.2.3	Maßnahmen in den Streckenbeeinflussungsanlagen	15	6	Auswertung der Datenbasis	46
2.3	Auswertung des Verkehrsablaufs bei Witterungsereignissen	17	6.1	Auswertung der Wirkungsthesen	48
3	Konzeption für die Auswertung	19	6.2	Auswertung der Wirksamkeitsthesen.....	61
3.1	Konzept zum Aufbau der Datenbasis.....	19	6.3	Auswertung coronabedingter Einflüsse auf den Verkehr.....	79
3.2	Konzept für statistische Auswertung und Aggregation	23	6.4	Konzeptionelle Überlegungen zur Optimierung witterungsbedingter Maßnahmen	85
3.2.1	Auswahl relevanter Daten	23	6.4.1	Harmonisierung im SARAH-Steuerungsmodell	85
3.2.2	Streckenbezug.....	28	6.4.2	INCA+	86
3.2.3	Auswahl geeigneter Darstellungsformen ..	29	6.4.3	AIX-ProB	86
3.2.4	Datenfilterung	30	6.4.4	Konzept zur Berücksichtigung des Witterungseinflusses in MARZ-Verfahren zur Bestimmung des Verkehrszustands	86
3.2.5	Statistische Auswertung	31	7	Fazit und Ausblick	89
3.3	Konzept zur Auswertung der Wirksamkeit witterungsbedingter Verkehrsprogramme.....	34	Literatur	92	
4	Erstellung der Wirkungsthesen	35	Anhang 1: Datenmodell	95	
4.1	Aufstellung von Wirkungsthesen	35	Anhang 2: Dokumentation Datenbrowser	95	
4.1.1	Allgemeine Rahmenbedingungen für die Aufstellung der Wirkungsthesen.....	35	Anhang 3: Bildung der MQ-Gruppen	95	
4.1.2	Zusammenstellung und Einordnung der Thesen.....	35	Anhang 4: Datenbankspezifikation und Datenbankbeschreibung	95	
			Anhang 5: Auswahl Wirkungs- und Wirksamkeitsthesen	95	
			Anhang 6: Auswertung der Thesen zur Wirkung und Wirksamkeit	95	
			Anhang 7: Streckenbezug	95	
			Anhang 8: Standorte	95	

1 Ausgangslage, Zielsetzung und Vorgehensweise

Zur Steigerung der Verkehrssicherheit und der Verkehrsqualität stellen Streckenbeeinflussungsanlagen auf Bundesautobahnen ein wirksames Mittel dar. Neben Methoden zur zuverlässigen Situationserkennung verkehrlicher Störungen, der Harmonisierung des Verkehrsflusses und der Staudetektion standen Themen wie Sensor- und Datenqualität sowie die Modellierung der zu berücksichtigenden meteorologischen Zusammenhänge im Vordergrund vergangener Richtlinien- und sonstiger Grundlagenarbeiten. Einige neue Situationserkennungsverfahren und die daraus resultierenden Maßnahmen wurden in die Aktualisierung des Merkblattes für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen (MARZ) Ausgabe 2018 übernommen. Bis auf wenige Ausnahmen werden dabei allerdings rein verkehrliche oder rein witterungsbedingte Szenarien betrachtet. Rein witterungsbasierte Situationserkennungsverfahren werden durch den FGSV-Arbeitskreis 3.2.14 „Witterungsabhängige Verkehrsbeeinflussung“ stetig weiterentwickelt. Im Fokus steht hier die zuverlässige Erkennung von Witterungsereignissen. Wie die Analyse des aktuellen Stands der Technik zeigt, ist der witterungsbedingte Einfluss auf den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit sowie die Wirkung von witterungsbedingten Maßnahmen durch Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) nur wenig erforscht. Das Projekt soll daher die Auswirkungen von witterungsbedingten SBA-Maßnahmen untersuchen.

Ziel dieses Projektes ist es die Wirkungen der Witterung auf den Verkehrsablauf und die Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen bei widrigen Witterungsbedingungen zu untersuchen. Dazu wird auf der Grundlage einer Literaturanalyse (s. Kapitel 2) ein Auswertekonzept erarbeitet, um auf Basis von aufgestellten Thesen statistisch abgesicherte Erkenntnisse zum Witterungseinfluss auf den Verkehrsablauf zu erhalten (s. Kapitel 3). Zunächst wird eine möglichst umfassende Datenbank (s. Kapitel 5) von verschiedenen Standorten (Streckenabschnitte in unterschiedlichen Regionen und somit Witterungsverhältnissen), Witterungsereignissen (vorrangig Niederschlag und Nebel), jahreszeitlichen Einflüssen und verkehrlichen Situationen (z.B. Verkehrszusammensetzung und -nachfrage,

Ballungsraum oder Freizeitverkehr, unterschiedliche Streifigkeiten) mit und ohne SBA geschaffen. Zur Analyse der Wirkungen der Witterung auf den Verkehrsablauf und die Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen bei widrigen Witterungsbedingungen werden Thesen aufgestellt, die mit statistischen Methoden ausgewertet werden können (s. Kapitel 4). Aufbauend auf diesen Thesenauswertungen kann die Wirkung von aktuell eingesetzten witterungsbedingten Maßnahmen auf den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit (durch einen Vergleich gleichartiger Situationen mit/ohne SBA) analysiert werden (s. Kapitel 6). Auch die Wirksamkeit von aktuell eingesetzten witterungsbedingten Maßnahmen kann durch einen Vergleich von beeinflussten und unbeeinflussten Streckenabschnitten bei vergleichbarer Witterungs- und Verkehrslage untersucht werden.

Die Begriffe Wirkung und Wirksamkeit werden dabei in der verkehrstechnischen Literatur häufig synonym verwendet, weswegen die beiden Begriffe vorab voneinander abgegrenzt werden. Unter dem Begriff Wirkung werden sowohl erwünschte Effekte hinsichtlich definierter Wirkziele als auch zusätzliche, ggf. auch negative Effekte verstanden. Beispielsweise kann die Witterung unterschiedliche Wirkungen auf den Verkehrsablauf und das individuelle Fahrverhalten haben. Die Wirksamkeit, bspw. einer Maßnahme der Verkehrsbeeinflussung, bezieht sich dagegen ausschließlich auf erwünschte Effekte bezüglich vorher definierter Wirkziele und beschreibt, in welchem Maße diese Ziele erreicht wurden. Die Wirksamkeit kann daher über den Vergleich zwischen unbeeinflusstem und beeinflusstem Verkehr untersucht werden. Dies kann entweder über vergleichbare Strecken mit und ohne SBA erfolgen. Eine weitere Möglichkeit bietet sich, wenn an einem Standort mit SBA vergleichbare Verkehrsverhältnisse, ohne verkehrlich bedingten Eingriff der SBA, ein witterungsbedingter Eingriff der SBA beobachtet werden kann.

Die Ergebnisse bilden die Grundlage dafür, in der Praxis die witterungsbedingten Eingriffe in den Verkehrsablauf zu optimieren. Beispielhaft wird ein neuer SBA-Steuerungsansatz konzipiert, mit dem der Einfluss von Nässe- oder Nebelereignissen auf das Fundamentaldiagramm und damit auf die Harmonisierung des Verkehrsflusses während Witterungsereignisse berücksichtigt werden kann.

2 Grundlagen

Zunächst wird der Einfluss der Witterung auf den Verkehrsablauf beschrieben. Daraufhin werden die Kenngrößen vorgestellt, die zur Beschreibung des Witterungszustandes genutzt werden, ihre Plausibilisierung beschrieben und die Schwierigkeiten, die bei der Erfassung und Auswertung auftreten können, dargestellt. Danach werden Maßnahmen vorgestellt, die bei negativen Witterungseinflüssen an SBA in Deutschland umgesetzt werden. Im letzten Schritt folgt eine Literaturanalyse zum Einfluss witterungsbedingter Schaltungen von Streckenbeeinflussungsanlagen auf den Verkehrsablauf.

2.1 Einfluss der Witterung auf den Verkehrsablauf

Der Einfluss der Witterung auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf wurde in einer Vielzahl von Studien untersucht. Auf makroskopischer Ebene lässt sich der Einfluss der Witterungsbedingungen auf den Verkehrsablauf anhand der Auswirkungen auf die Kenngrößen Geschwindigkeit und Streuung der Einzelgeschwindigkeit, Nettozeitlücken, Reisezeit, Kapazität/Leistungsfähigkeit und Auffahrtszeit (Time-To-Collision TTC) darstellen, indem man diese für identische Verkehrsverhältnisse bei unterschiedlichen Umfeldbedingungen vergleicht (MAGET 2010, DINKEL 2013). Die Geschwindigkeit kann als Risikofaktor sowohl für die individuelle als auch für die kollektive Verkehrssicherheit angesehen werden.

Dadurch kann davon ausgegangen werden, dass Verkehrsteilnehmer bei widrigen Witterungsbedingungen ihre Geschwindigkeit anpassen und verringern. Auf der anderen Seite kann eine zu geringe Geschwindigkeit, auch insbesondere bei einem Zusammenbruch des Verkehrsflusses am Stauende und/oder bei geringer Sicht, zu Auffahrunfällen führen (MANGOLD 1996). Die Streuung der Geschwindigkeiten ist in der Hinsicht von Relevanz, dass es durch unterschiedliche Geschwindigkeiten der Verkehrsteilnehmer zu Kollisionskursen zwischen einzelnen Fahrzeugen kommen kann (MAGET 2010). Die Nettozeitlücke beschreibt die Zeitdifferenz zum vorherigen Fahrzeug. Wird diese Zeitlücke kleiner, bleibt dem Fahrer weniger Zeit, sich auf Veränderungen im Fahrverhalten des vorausfahrenden Fahrzeugs einzustellen und es kann zu starken

Brems- und Ausweichmanövern kommen (MAGET 2010). Aus den Geschwindigkeiten zweier hintereinanderfahrender Fahrzeuge und deren Nettozeitlücken kann die Auffahrtszeit berechnet werden. Sie beschreibt die Zeit, die „benötigt“ wird, damit zwei Fahrzeuge miteinander kollidieren (STEINHOFF 2003).

Bei 18,8 % der Unfälle mit Personenschaden auf Autobahnen und Hauptverkehrsstraßen konnten Witterungsumstände als mitwirkende Ursache festgestellt werden (HOFFMANN 1984). Diese Erkenntnisse werden bestätigt durch neuere interne Untersuchungen von SSP Consult für die Betreiber der Verkehrsbeeinflussungsanlage (VBA) A 1 in Bremen / Niedersachsen (hier Anteil von 15 % in den Jahren 2004 bis 2008). Zahlreiche Studien aus unterschiedlichen Ländern weisen darauf hin, dass sich überproportional viele Unfälle während eines Niederschlagsereignisses und/oder einer nassen Fahrbahn ereignen (vgl. BERTNESS 1980, APPEL 1977, ERKE & ZIMOLONG 1978). Auch diese Zahlen werden durch die o. g. neuere interne Untersuchung zur VBA A 1 in Bremen / Niedersachsen bestätigt.

Generell gehören geringere Reibungsbeiwerte bei nasser Fahrbahn und geringere Sichtweiten zu den allgemein anerkannten wetterbedingten Gefahren im Straßenverkehr. Eine Verringerung des Reibungsbeiwerts führt zu längeren Bremswegen und geringeren aufnehmbaren Radialkräften in Kurven. Vor allem Nässe und Glätte bewirken die Minderung der Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche. Dadurch kann es zu einer Verringerung der Traktion, der Stabilität sowie der Manövrierbarkeit von Fahrzeugen kommen (vgl. KLOTZ 2002).

Eine Einschränkung der Sichtweite kann neben Dunkelheit auch durch Nebel, Niederschlag oder „Sprühfahnenbildung“ entstehen. Vor allem Sichtweiten unter 400 m beeinflussen die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf, da die Wahrnehmung sämtlicher Einflüsse des Straßenverkehrs überwiegend optisch erfolgen (GROŠANIĆ & PIŚCZEK 2010). Ein weiterer witterungsbedingter Einflussfaktor auf den Verkehrsablauf ist die subjektive Gefahreinschätzung des Fahrers, die dessen Fahrverhalten bedingt. Unterschiedliche Witterungsbedingungen treffen auf unterschiedliche optische Wahrnehmungen und Risikoempfinden des Fahrzeugführenden (URGIBL 2019).

Niederschläge und Schnee beeinflussen den Verkehrsfluss vor allem in Form von reduzierten Geschwindigkeiten und der Varianz der Geschwindigkeit (PISZCZEK ET AL. 2010). AGARWAL ET AL. (2005) untersuchten den Einfluss von Niederschlag und Schnee auf den Verkehrsablauf und die Kapazität mit Hilfe von Verkehrsdaten aus Detektoren von Straßenbelagssystemen, Wetterdaten aus Oberflächenbeobachtungs- (ASOS) und Straßenwetterinformationssystemen (SWIS). Das Untersuchungsgebiet umfasste dabei das Autobahnnetz der Twin Cities in Minnesota, USA. Sie stellten eine detaillierte Klassifizierung nach der Intensität des Regen bzw. Schneeeignisses auf. Ergebnisse waren eine Kapazitätsreduktion um 10-17 % und eine Geschwindigkeitsreduktion um 4-7 % bei starkem Regen (0,25 inch/h \pm 6,35 mm/h). Starker Schneefall (> 0,5 inch/h \pm 12,7 mm/h) reduziert die Kapazität um 19-28 % und die Geschwindigkeit um 11-15 %. PAPAGEORGIU ET AL. (2006) stellten eine Reduzierung der Kapazität um ca. 10% an regnerischen Tagen fest.

VAN TOORENBURG (1986) untersuchte den Einfluss von Fahrbahnnässe und Dunkelheit auf die Kapazität des Verkehrs auf Autobahnen und Landesstraßen in den Niederlanden. Von Fahrbahnnässe spricht man dann, wenn sich aufgrund von Niederschlag ein Wasserfilm auf der Fahrbahn bildet. Er beobachtete einen Kapazitätsrückgang von -12 % \pm 2 % bei Regen und um -5 % \pm 2 % bei Dunkelheit und trockener Fahrbahn. SCHWIETERING (2010) untersuchte ebenfalls den Einfluss von Nässe und Dunkelheit auf die Verkehrskapazität mit Hilfe von Verkehrs- und Umfelddaten von über 100 Messquerschnitten aus Österreich. Er stellte eine Verringerung der Streckenkapazität durch Nässe und Dunkelheit um jeweils etwa 14 % und somit einen wesentlich höheren Einfluss auf die Kapazität, als durch den Lkw-Anteil (-3,8 %) oder die Verkehrszusammensetzung (-5,7%), fest. OKAMOTO ET AL. (2004) analysierten die Kapazität bei Niederschlagsereignissen an einer 250 km langen Autobahn in Japan mit 150 Messquerschnitten je Fahrtrichtung. Sie stellten einen Kapazitätsrückgang von ca. 17 % bei einer Niederschlagsintensität von 4,8 mm/h und 34 % für ein starkes Niederschlagsereignis bei einer Niederschlagsintensität von 9,6 mm/h fest.

MAGET (2010) fand zudem heraus, dass einsetzender Niederschlag die Streuung der Einzelgeschwindigkeiten erhöht, was er wiederum auf die unterschiedlichen Reaktionen der Verkehrsteilnehmer auf Regen zurückführt. Bildet sich infolge des Niederschlages eine dünne Flüssigkeitsschicht auf der Fahrbahn kann dies zu weiteren Gefahren führen. Einerseits kann durch aufgewirbeltes Wasser eine Sprühhahnne entstehen, welche die Sicht der nachfolgenden Fahrzeuge behindert. Andererseits besteht die Gefahr, dass es zu Aquaplaning kommt und mit einem Kontrollverlust des Fahrzeugs zu rechnen ist. Bei Aquaplaning wirkt das Wasser zwischen Reifen und Fahrbahn wie ein Schmierfilm, der die Reibungskräfte verringert.

RÄMÄ (2001) untersuchte das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer bei glatten Straßenverhältnissen in Finnland und ermittelte eine Reduzierung der Durchschnittsgeschwindigkeit um 4 km/h. Bei Glätte handelt es sich um eine gefährliche Witterungsbedingung, die nicht sofort erkannt wird. Auf rutschiger Fahrbahn schätzten bspw. nur 14% der finnischen Fahrer die Fahrbahn als rutschig ein, während mehr als die Hälfte die Reibung als normal betrachteten (RÄMÄ 2001). Laut HRANAC ET AL. (2006) scheinen Verkehrsteilnehmer in Regionen, in denen Schnee- und Glättesituationen häufiger vorkommen ihre Fahrweise in einem Lernprozess an die vorherrschenden Verhältnisse anzupassen. Die negativen Effekte auf den Verkehrsablauf waren geringer, als in Regionen, bei denen es seltener zu diesen Witterungsbedingungen kommt. RÄMÄ & KULMALA (2000) stellten fest, dass es trotz Investitionen in den Winterdienst, wie z.B. die präventive Besalzung auf Grund von Wettervorhersagen, häufig zeitliche Verzögerungen zwischen der Feststellung der Glätte und den Wartungsarbeiten gibt.

DEBUS ET AL. (2005) untersuchten in ihrer Verkehrssicherheitsstudie das Fahrerverhalten bei Nebel und widerlegten dabei die „Sog-Druck“-Hypothese nach SCHÖNBACH (1996), dass sich Fahrer bei Nebel an der Fahrweise der vorausfahrenden und nachfolgenden Fahrer orientieren. Ihre Untersuchungsergebnisse basieren auf Fahrsimulator-Untersuchungen, die vielmehr die These stützen, dass die Fahrer ihr individuelles Fahrverhalten hinsichtlich Geschwindigkeits- und Abstandswahl an die empfundenen Fahrbedingungen in Abhängigkeit von Verkehrs- und Witterungszustand anpassen.

Auch MAGET (2010) kam zu dem Schluss, dass eine Abnahme der Sichtweite in einer Zunahme der Nettozeitlücke resultiert.

AGARWAL ET AL. (2005) untersuchten zudem den Einfluss von schlechten Sichtverhältnissen aufgrund von Nebelereignissen und stellten eine Kapazitätsverringerng von 10-12 % (Sicht unter 1 Meile \triangleq 1,61 km) und eine Geschwindigkeitsreduzierung von 6-11 % fest.

Der Einfluss von Wind ist in der Hinsicht relevant, da einzelne Böen doppelt so stark sein können wie der mittlere Wind, sodass neben Motorrädern besonders für Fahrzeuge mit großem Querschnitt die Gefahr eines Versatzes quer zur Fahrtrichtung besteht. Zudem wird die Verkehrssicherheit durch die Gefahr eines möglichen Umkippen oder auch einer Kollision beeinträchtigt (MAGET 2010). Allerdings bezieht sich dies meist nur auf spezielle Streckenbereiche, wie z.B. Brücken und auf Fahrzeuge mit großen Windangriffsflächen. In diesen Fällen wird der Straßenverkehr vor allem durch starken Seitenwind beeinflusst (URGIBL 2019).

Insgesamt sind Geschwindigkeitsreduktionen am stärksten ausgeprägt, wenn mehrere kritische Umfeldbedingungen überlagert auftreten (DINKEL 2013). Von den untersuchten Witterungsbedingungen scheint der Niederschlag den deutlichsten Einfluss auf den Verkehrsablauf zu haben. Dabei sind jedoch langanhaltende und intensive Niederschlagsereignisse nötig, um das Verhalten der Verkehrsteilnehmer zu beeinflussen. Eine Reaktion der Sicherheitsindikatoren scheint häufiger durch eine lange Dauer der Witterungsereignisse hervorgerufen zu werden als durch eine hohe Intensität (MAGET 2010).

2.2 Maßnahmen in der Streckenbeeinflussung bei schlechter Witterung

2.2.1 Kenngrößen zur Beschreibung des Witterungszustandes und deren Plausibilisierung

Im Folgenden werden die Kenngrößen beschrieben, die an Streckenbeeinflussungsanlagen zur Beschreibung des Witterungszustandes und zur Plausibilisierung verwendet werden.

Bei der weitergehenden Betrachtung werden dabei auch die Erkenntnisse des BAST-Berichtes „Neue

Sensorbauarten für Straßenwetterstationen“ (BADEL 2020) berücksichtigt. Zur Sicherstellung der Qualität von Straßenwetterstationen (SWS) werden hier bestehende mit neuen Bauarten von Sensoren verglichen. Genutzt wird hierbei das Testfeld der BAST auf der A 4, bei dem eine entsprechende Sensorik seit 2016 zur Verfügung steht.

Als eine wesentliche Erkenntnis kann hier festgehalten werden, dass heutige Straßenwetterstationen die wichtigsten Parameter mit einer hinreichenden Genauigkeit automatisch messen / erfassen können.

Die **Niederschlagsintensität** (NI) beschreibt die Niederschlagshöhe in mm pro Zeiteinheit. Sie bezieht sich also auf die Menge des gefallenen Niederschlags pro Zeiteinheit auf einer ebenen Fläche und stellt somit ein Maß für die Stärke eines Niederschlagsereignisses dar (BAST 2002). Das Wasservolumen pro Bodenfläche wird dafür in eine Wassersäule umgerechnet. Durch die Quotientenbildung mit der Niederschlagsdauer wird daraufhin die Intensität bestimmt:

$$\frac{\text{Wassersäule}}{\text{Zeit}} = \frac{\text{mm}}{\text{h}} \text{ (MAGET 2010).}$$

In der Verkehrsmeteorologie hat sich die Niederschlagsmessung mittels Lichtschrankenprinzip bewährt, welches minütlich die Niederschlagsintensität misst. Die **Niederschlagsart** (NS) wird anhand des Aggregatzustandes, der Menge und der Größe der Partikel klassifiziert. Man unterscheidet bspw. den Niesel-/Sprühregen, Regen, Graupel/Hagel und Schnee des fallenden Niederschlags (DINKEL 2013).

Die Kenngröße **Wasserfilmdicke** (WFD) beschreibt eine dünne Flüssigkeitsschicht, die sich in Folge von Niederschlag auf der Fahrbahn bildet. Diese entsteht durch eine positive Differenz aus Zu- und Abfluss von Wasser. Der Zufluss wird vor allem durch die Niederschlagsintensität bestimmt, der Abfluss dagegen durch die Neigung der Fahrbahn, die Höhe des Wasserfilms und der Verdunstung. Diese wiederum ergibt sich aus der Lufttemperatur und Luftfeuchte (MAGET 2010). Bei Messung der Wasserfilmdicke über Fahrbahnsonden ist immer zu berücksichtigen, dass die Wasserfilmdicke hier im Regelfall auf der Sonde und nicht auf der Fahrbahn gemessen wird. Demgegenüber messen berührungslose Systeme den Kennwert direkt auf der Fahrbahn.

Der **Zustand der Fahrbahnoberfläche** (FBZ) beschreibt, welcher Aggregatzustand auf der Fahrbahnfläche vorliegt. Dabei wird der aktuelle Zustand aus der Messung der Wasserfilmdicke und der Fahrbahnoberflächentemperatur bestimmt. Der Sensor ermittelt die Zustände trocken, feucht, nass, schnee- / eisbedeckt und kritische Nässe.

Die **Lufttemperatur** (LT) beschreibt in der Verkehrsmeteorologie die Temperatur der Umgebungsluft in der Nähe der Fahrbahnmessstelle und wird in Grad Celsius angegeben (BAST 2002). Sie kann in einem Bereich von -30 °C bis +100 °C erfasst werden mit einer Messgenauigkeit von $\pm 1^\circ\text{C}$ (MAGET 2010). Die **relative Luftfeuchte** (RLF) beschreibt den relativen Sättigungsgrad der Luft mit Wasserdampf (DINKEL 2013) und wird durch ein Feuchtemaß bestimmt. Der Wasserdampf übt gemäß dem Daltonschen Gesetz einen Partialdruck aus, der als Dampfdruck (e) bezeichnet wird. Dieser kann einen Sättigungsdampfdruck ($e_w(T)$) erreichen, der den von der Temperatur (T) abhängigen Höchstwert darstellt. Aus dem Quotient des aktuellen Dampfdrucks und des Sättigungsdampfdrucks kann dann die relative Luftfeuchte berechnet werden:

$$RLF = \frac{e}{e_w(T)} * 100\%$$

Die Temperatur, bei welcher der vorhandene Partialdruck des Wasserdampfs dem Sättigungsdampfdruck entspricht, bezeichnet man als Taupunkt (τ) (MAGET 2010).

Die horizontale **Sichtweite** (SW) wird durch geometrische und atmosphärische Effekte beeinflusst. Sie wird von drei wesentlichen Faktoren bestimmt. Zum einen durch die wellenabhängige Absorption und Streuung des vom Objekt reflektierten Lichts zum Beobachter (Extinktion) und zum anderen durch dessen unterschiedliche und individuelle Wahrnehmung. Zuletzt wird die Sichtweite zudem durch die Erdkrümmung begrenzt. Eine Erhöhung der Extinktion kann bspw. durch die verschiedenen Niederschlagsarten und Nebel geschehen (MAGET 2010).

Die **Fahrbahnoberflächentemperatur** (FBT) kann entweder durch entsprechende in die Fahrbahn zu montierende aktive oder passive Sensoren oder alternativ auch berührungslos (über die Messung der von der Oberfläche abgegebenen Infrarotstrahlung)

ermittelt werden. Sie wird in Grad Celsius gemessen und zur Glätteerkennung mit herangezogen.

Tabelle 2-1: Datenerfassung der Witterungszustände (in Anlehnung an FGSV (2017)) und Sensorvergleich BAST 2020

Messgröße	DE-Typ	Witterungszustand			
		Nässe	Glätte	Nebel	Wind
Niederschlagsintensität [mm/h]	53	x		p	
Niederschlagsart	71	x	(p)	p	
Wasserfilmdicke [mm]	72	x	(p)		
Zustand der Fahrbahnoberfläche	70	x	x		
Fahrbahnoberflächentemperatur [°C]	49		x		
Lufttemperatur [°C]	48	p	x	p	
Relative Luftfeuchte [%]	55	p	x*	p	
Meteorologische Sichtweite [m]	60			x	
Bodentemperatur [°C]	67 / 69		(p)		
Gefriertemperatur / Restsalzgehalt [°C]	65 / 52		(p)		
Griffigkeit unter Berücksichtigung der Fahrbahnoberfläche			(p)		
Windgeschwindigkeit (Spitze) [m/s]	64				x
Mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]	57				x
Windrichtung (°)	56				x

* bzw. Taupunkttemperatur
 x = Erfassung notwendig
 p = Erfassung zur Plausibilisierung notwendig
 (p) = Erfassung zur Plausibilisierung möglich

Um windkritische Situationen zu ermitteln werden gemessene **Windgeschwindigkeiten** (Spitze) in Windstärken klassifiziert. Je nach Standort werden Grenzwerte durch die Kombination aus Windstärke und Windrichtung aufgestellt (BAST 2018). Die Messung der Windrichtung und -geschwindigkeit ist von Relevanz, da bereits einzelne Böen, also Windstöße von wenigen Sekunden, zu einer Gefahr für den Verkehr werden können, da sie doppelt so stark sein können wie der mittlere Wind. „Die Strömungskraft, welche der Wind auf ein Objekt ausübt, ist zur Querschnittsfläche und dem Strömungskoeffizienten des angegriffenen Objekts sowie zum Quadrat der Windgeschwindigkeit proportional“ (KRAUS 2003). Dies ist allerdings meist nur an besonders exponierten Stellen, wie Brücken, gegeben, bei denen dann oft spezielle Windwarnanlagen zum Einsatz kommen.

Tabelle 2-1 zeigt, welche Erfassung von Kenngrößen für welche Witterungsbedingung notwendig sind. Außerdem zeigt sie diejenigen Messgrößen, die für eine Plausibilisierung genutzt werden können. Gemäß Erkenntnissen der Untersuchung von BADEL (2020) sind Plausibilisierungen unbedingt

zu empfehlen und die Sensorik regelmäßig über einen Wartungsvertrag zu warten.

Plausibilitätsprüfungen werden durchgeführt, um alle erfassten Umfelddaten auf ihre physikalische und logische Richtigkeit hin zu überprüfen. Diese Prüfungen werden unterteilt in Einzelmesswertprüfungen, die für alle Daten, die in das System übertragen werden, durchgeführt werden müssen, logisch/physikalische PL-Prüfungen und Langzeit-PL-Prüfungen (GROŠANIĆ & PIŠCZEK 2010). Die erfassten Messwerte werden laut FGSV (2017) auf folgende Bedingungen überprüft:

1. **Ausfallüberwachung** stellt fest, ob ein Messwert vorhanden und nicht als fehlerhaft gekennzeichnet ist.
2. **Grenzwertüberwachung** zeigt, ob der Messwert innerhalb eines parametrierbaren Wertebereichs liegt.
3. **Differentialkontrolle** überprüft, ob in einem definierten Zeitraum Änderungen des Messwertes auftreten, da dieser meteorologisch bedingt kontinuierlichen Schwankungen unterliegen sollte.
4. **Anstiegs-Abfall-Kontrolle** gibt Auskunft darüber, ob die Differenz von zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Messwerten innerhalb eines Grenzbereichs liegt.

Sobald eine dieser Bedingungen nicht erfüllt wird, ist der Messwert „nicht plausibel“. Nähere Details zum Umgang mit Fehlern sind beispielsweise dem Kapitel 5 der „Hinweise für Planung, Einrichtung und Betrieb von SWIS (FGSV 2019)“ zu entnehmen. Dort sind auch Informationen zum technischen Stand verschiedener Sensoren niedergeschrieben.

Bei der logischen/physikalischen Prüfung werden meteorologische voneinander abhängige Messwerte in Beziehung zueinander gesetzt. Die Langzeit-Plausibilitätsprüfung hat die Aufgabe, systematische Fehler zu ermitteln. Dafür werden die Messgrößen unter Beachtung der meteorologischen Gegebenheiten mit anderen benachbarten Messquerschnitten verglichen (URGIBL 2019). Generell ist

hierbei auch immer die jeweilige Genauigkeit der Erfassung selbst zu beachten.

Für Werte, die als „nicht plausibel“ eingestuft werden, müssen gemäß FGSV (2017) Ersatzwerte gebildet werden, die sich je nach Messwertart unterscheiden. Für die Niederschlagsart bspw. wird entweder der letzte plausible Wert übernommen oder aber der Wert vom zugeordneten Ersatzquerschnitt, falls dieser als plausibel eingestuft wurde.

Eine Plausibilisierung der Sensoren der Primärgrößen Sichtweite, Niederschlagsintensität und Wasserfilmdicke, geschieht mittels inhaltlicher Beurteilungsmethoden. Ein Ganglinienvergleich ermöglicht Rückschlüsse auf die Qualität der Sensoren und Kameras unterstützen die Einschätzung der Witterungsereignisse. Beobachtungen vor Ort können durchgeführt werden, um das wahrgenommene Wettergeschehen zu protokollieren und ggf. weitere Messungen zur Niederschlagsintensität durchzuführen. Mittels Sprühkasten-/Tuchtest kann die von der Bodensonde erfasste Wasserfilmdicke und Gefriertemperatur überprüft werden (GROŠANIĆ & PIŠCZEK 2010).

Künftig wird verstärkt auch mittels mobiler Sensoren eine streckenbezogene Bewertung / Plausibilisierung erfolgen müssen, damit darauf basierend auch streckenbezogene Prognosen abgeleitet werden können, da die punktuelle Erfassung hierfür keine ausreichende Grundlage bildet.

2.2.2 Schwierigkeiten bei der Erfassung und Auswertung bestimmter Kenngrößen und der Plausibilisierung

Für eine positive Wirksamkeit von SBA ist die Befolgung der Anzeigen auf den Wechselverkehrszeichen (WVZ) durch die Verkehrsteilnehmer eine Grundvoraussetzung. Von einer Befolgung wird dann gesprochen, wenn die Verkehrsteilnehmer ihr Fahrverhalten den Warnhinweisen oder vor allem auch den Geschwindigkeitsbeschränkungen anpassen. Dazu ist es erforderlich, dass die aktuellen Witterungsbedingungen zeitnah im System abgebildet werden und die Umfelddaten eine gute Qualität (also geringe Messfehlerrate) aufweisen (GROŠANIĆ & PIŠCZEK 2010).

Allerdings kann es bei der Erfassung und Auswertung bestimmter Kenngrößen und der Plausibilisierung zu Schwierigkeiten kommen. Im Auftrag des

Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS, jetzt BMDV) wurde im Großraum München zwischen 2003 und 2015 das Testfeld für Umfelddatenerfassung „Eching Ost“ betrieben. Ziel war dabei die Qualität der Systeme zur Umfelddatenerfassung in SBA systematisch zu überprüfen und zu verbessern. DINKEL (2013) untersuchte die Qualität der Sensoren in einer Testphase von 2005 bis 2008. Die Beurteilung der Messungen für die 11. Testphase vom November 2014 bis Oktober 2015 wurde in dem Abschlussbericht „Umfelddatenerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen Testfeld „Eching Ost“ des Bundes“ durch die Technische Universität München, Lehrstuhl für Verkehrstechnik (HAUG 2016) veröffentlicht.

Besonders zu erwähnen ist hier auch das weiter oben bereits beschriebene Testfeld der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) auf der A4. Hier werden seit 2016 sehr intensive Analysen und Sensorvergleiche durchgeführt. Die wesentlichen Erkenntnisse hieraus sind in den Bericht von BADELDT und EIMERMACHER (2020) eingeflossen.

SCHEDLER (2020) konnte in einer Vielzahl von Befahrungen mit mobilen Messungen in den Jahren 2016 und 2017 nachweisen, dass insbesondere die Nässe- und Temperaturbedingungen auf Straßen sehr stark auf kurzen Streckenfolgen variieren. Es ist sehr schwierig, aus lokalen Messwerten streckenbezogene Daten, insbesondere auch im Hinblick auf Glättesituationen, abzuleiten. Hier wird deshalb empfohlen, Modelle zu verwenden, in welchen aus lokalen streckenbezogene Größen erzeugt werden.

Die Niederschlagsintensität ist für eine Steuerung mittels SBA ein sehr wichtiger aber auch schwierig zu erfassender Wert. Zwischen den Referenzwerten und den Sensorwerten fallen teilweise sehr große Differenzen auf (DINKEL 2013). Vor allem bei der Tagessumme des Niederschlags kommt es zu größeren Abweichungen, insbesondere, wenn zu einem Niederschlagsereignis noch ein längerer leichter Regen unter 1 mm/h hinzukommt (Technische Universität München 2016). Dem versucht man dadurch, entgegenzuwirken, indem die Messverfahren in den letzten Jahren immer feiner werden, um auch kleinste Niederschläge zu detektieren. Allerdings steigt mit der Sensitivität des Messverfahrens nach Herstellerangaben das Risiko von Fehlmessungen.

Die Analysen der Umfelddatenerfassung hinsichtlich der Wasserfilmdicke von DINKEL (2013) zeigen, dass einige Sensoren teilweise auch mehrere Minuten verzögert auf eine entstehende Nässe reagieren, was besonders bei starken Niederschlagsereignissen zu Fehlschaltungen führen kann. Zudem kann es auch bei der Abtrocknung der Fahrbahnoberfläche zu Schwierigkeiten aufgrund von verzögerten Reaktionen kommen (DINKEL 2013). Dies ist voraussichtlich auch oft auf den oben schon beschriebenen Umstand zurückzuführen, dass die Werte auf der Sonde selbst gemessen werden.

Die Analysen der Lufttemperatur und relativen Luftfeuchte weisen an allen getesteten Sensoren einen ähnlichen Ganglinienverlauf und somit ein homogenes Messniveau auf (Technische Universität München 2016). Bei der Messung der Temperatur der Fahrbahnoberfläche kann es jedoch zu Abweichungen aufgrund des Verlaufs des Schattenfalls und unterschiedlichen Bewölkungszuständen kommen (DINKEL ET AL. 2008). Um eine zuverlässige Messung zu der Gefriertemperatur zu bekommen, ist ein relativ hoher Wasserfilm notwendig. In der Praxis werden jedoch auch bei nur feuchter Fahrbahn Messungen durchgeführt, was zu starken Messunterschieden führen kann. Zudem muss beachtet werden, dass Schneeräumungen oder Tausalz auf der Straße die Gefriertemperatur verringern können (FGSV 2017).

2.2.3 Maßnahmen in den Streckenbeeinflussungsanlagen

In den Steuerungslogiken der SBA werden die erhobenen Verkehrs- und Umfelddaten berücksichtigt. Mit Hilfe dynamischer WVZ werden die Verkehrsteilnehmer vor Umfeldbedingungen wie z. B. Nebel und Nässe, die zu gefährlichen Situationen führen können, gewarnt. Sie passen die zulässige Höchstgeschwindigkeit dynamisch und regelbasiert an die aktuellen Bedingungen an (GROŠANIĆ & PIŠCZEK 2010). Dafür gelten die Vorgaben der „Richtlinie für Wechselverkehrszeichen an Bundesfernstraßen“ (RWVZ) [15]. In den Dokumenten „Witterungszustand Nässe nach MARZ“ sowie „Hinweise zur Erfassung und Nutzung von Umfelddaten in Streckenbeeinflussungsanlagen“ (FGSV 2010) und „Witterungszustand Nässe und Witterungszustand Nebel“ wurden zudem Verfahren zu witterungsabhängigen Verkehrsbeeinflussungen dokumentiert.

Die Arbeitsschritte bei der Streckenbeeinflussung sind in Abbildung 2-1 dargestellt.

Der erste Schritt ist die Situationserkennung, bei der mittels Sensoren sowohl die physikalischen Größen des Verkehrs als auch des Umfeldes erfasst werden. Daraufhin werden die Verkehrs- und Umfeld-daten analysiert, ggf. hieraus weitere Kenngrößen rechnerisch abgeleitet und zu einem Gesamtbild verbunden. Auf Grundlage dieses Bildes wird eine Situationsbewertung vorgenommen und die Daten auf wenige Entscheidungsgrößen zusammengefasst. Dies ist notwendig, da durch mehrere Datenanalyseverfahren oder verschiedene Messeinrichtungen Widersprüche auftreten können. Die entstandene zeitlich und räumlich vollständige Beschreibung der Situation dient dann als Basis für die Maßnahmenauswahl. Es folgt eine Maßnahmenbewertung, bei der die aus den Maßnahmen resultierenden Schaltwünsche abgeglichen werden (GRIMM 2009). Die Verkehrs- und Umfelddaten werden stationär erfasst, über Streckenstationen (SST) und Unterzentralen (UZ) an eine Verkehrsrechnerzentrale (VRZ) übertragen und dort, teils direkt, teils in weiter abgeleiteter Form in den Steuerungs-algorithmen der SBA verwendet (BAST 2002).

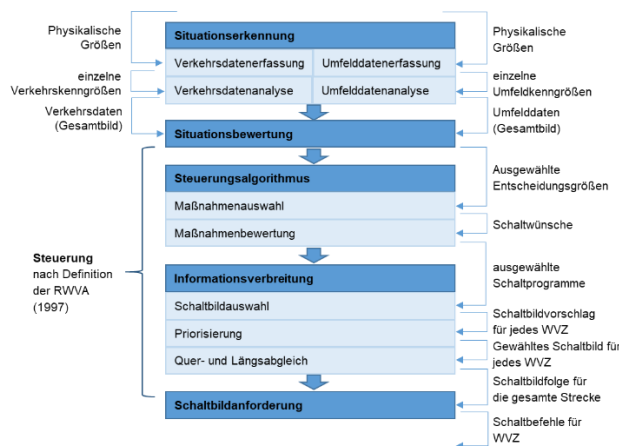


Abbildung 2-1: Arbeitsschritte Streckenbeeinflussung (in Anlehnung an GRIMM (2009))

Zur Steuerung des Verkehrs aufgrund von Niederschlag und Nässe der Fahrbahn dient das Modell „Ermittlung von Nässestufen“. Nässestufen werden anhand der eingestufteten Niederschlagsintensität und der eingestufteten Wasserfilmdicke bestimmt. Je nach Nässestufe (siehe Tabelle 2-2) werden verschiedene Schaltungen generiert. Diese bestehen

meist aus der Vorgabe einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Diese wird ab Stufe 2 durch das VZ 114 „Schleudergefahr“ ergänzt. Von Platzregen wird bei einem plötzlich auftretenden, starken Niederschlag gesprochen, wenn die Niederschlagsintensität einen Wert von 17 mm/h übersteigt (FGSV 2017).

Tabelle 2-2: Schaltungen bei Nässe (in Anlehnung an FGSV (2017))

Schaltung Nummer	Nässestufe	WVZ Typ A	WVZ Typ B	WVZ Typ C
0	Trocken	Dunkel	dunkel	dunkel
1	1	Tempo 120	dunkel	dunkel
2	2	Tempo 100	Schleudergefahr	dunkel
3	3	Tempo 80	Schleudergefahr	dunkel
4	4	Tempo 60	Schleudergefahr	dunkel
5	Platzregen	Tempo 60	Schleudergefahr	dunkel

Bei Glätte und Schnee empfiehlt die FGSV (2017) eine manuelle Schaltung des Zeichens „Schnee- oder Eisglätte“, jedoch in der Regel ohne Geschwindigkeitsbeschränkung.

Tabelle 2-3: Ein-/Ausschaltgrenzwerte und Schaltbild für Sichtweiten (in Anlehnung an GROŠANIĆ, & PIŠCZEK (2010))

SW-Stufe ein	SW-Stufe aus	SW-Stufe	WVZ Typ A	WVZ Typ B	WVZ Typ C
> 400 m	-	SW 0	dunkel	dunkel	dunkel
< 400 m	> 500 m	SW 1	Tempo 120	dunkel	dunkel
< 250 m	> 300 m	SW 2	Tempo 100	Gefahrstelle	Nebel
< 120 m	> 150 m	SW 3	Tempo 80	Gefahrstelle	Nebel
< 80 m	> 100 m	SW 4	Tempo 60	Lkw-Überholverbot	7,5 t
< 50 m	> 60 m	SW 5	Tempo 40	Lkw-Überholverbot	7,5 t

Die Schaltung beim Witterungszustand Nebel wird durch die gemessene Sichtweite bestimmt (siehe Tabelle 2-3). Es gibt 6 Sichtweitenstufen, die alle Stufen der Geschwindigkeitsbegrenzung beinhalten. Je nach gemessener Sichtweite werden entsprechende Schaltbilder angefordert (A-, B- und C-Zeichen). Zu den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten können je nach Sichtweitenstufe noch zusätzlich das Gefahrenzeichen VZ 101 oder „Lkw-Überholverbot“ (VZ 277) sowie textliche Zusätze, wie z.B. „Nebel“ oder „7,5t“ angefordert werden (BAST 2018).

Zum Schutz vor windkritischen Situationen können je nach Windgeschwindigkeit und Windrichtung SBA-Maßnahmen wie Geschwindigkeitsbeschränkungen, Teilableitungen gefährdeter Fahrzeuggruppen oder auch Vollsperrungen umgesetzt werden (URGIBL 2019). Die Klassifizierung erfolgt dabei mittels der Windstärke, die aus 13 Klassen besteht, von Windstille bis hin zu Orkan (BAST 2018).

Werden aus dem Steuerprogramm verschiedene WVZ gefordert, wird eine Priorisierung vorgenommen, um das anzuzeigende Zeichen auszuwählen. Dabei wird der Witterungszustand, der am schlechtesten erkennbar ist oder die Anordnung mit der niedrigsten zulässigen Höchstgeschwindigkeit bevorzugt (RWVZ 1997).

2.3 Auswertung des Verkehrsablaufs bei Witterungsereignissen

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit vorliegenden Erkenntnissen zum Einfluss witterungsbedingter Schaltungen in SBA auf den Verkehrsablauf.

Die Implementierung von witterungsbedingten Schaltungen in SBA kann bei ungünstigen Witterungsbedingungen die Verkehrssicherheit und in einigen Fällen auch die Ausnutzung der vorhandenen Kapazität verbessern, indem mit Hilfe von dynamisch veränderbaren Warnhinweisen und Geschwindigkeitsbeschränkungen auf aktuelle Verkehrs- und Umfeldbedingungen reagiert wird (PISZCZEK ET AL. 2010, KATZ ET AL. 2017, KOLISETTY 2005). Dabei sind laut KAPPICH ET AL. (2010) die Wirkungen von SBA-Maßnahmen häufig nur mikroskopisch sichtbar. Die Wirksamkeit kann dagegen auch durch makroskopische Beobachtungen analysiert werden.

SCHICK (2003) betrachtete in seiner Studie den Verkehrsfluss an Mit-SBA- und Ohne-SBA-Strecken, um die Auswirkungen witterungsbedingter Schaltungen zu untersuchen. Er konnte keine kapazitätssteigernde Wirkung von SBA feststellen. Allerdings ergab die Untersuchung eine deutliche Harmonisierungswirkung und damit einhergehend eine deutlich geringere Zusammenbruchswahrscheinlichkeit des Verkehrsablaufs. ZSOLT (2017) untersuchte die Auswirkungen von wetterbezogenen Sicherheitsmeldungen auf die Parameter des Autobahnverkehrs auf Abschnitten einer Schnellstraße (17 km) und einer Autobahn (4 km) in Ungarn, nahe Budapest. Er ermittelte, dass Warnhinweise die Geschwindigkeit der Verkehrsteilnehmer zwischen 5 und 10 km/h, abhängig vom Ort und den vorherrschenden Witterungsbedingungen, senken können.

RÄMÄ & KULMALA (2000) untersuchten in Finnland, inwiefern eine Warnung vor glatten Straßenverhältnissen und ein Mindestabstandszeichen das Fahr-

verhalten in Bezug auf Geschwindigkeit und Abstände beeinflusst. Ergebnis war, dass der Warnhinweis für rutschige Straßenverhältnisse die Fahrgeschwindigkeit um 1-2 km/h in einer Entfernung von 500 bis 1.100 m nach den Schildern verringerte. Allerdings wurde auch festgestellt, dass sich diese Werte in Abhängigkeit der Straßenverhältnisse unterscheiden.

Auf einem Streckenabschnitt, der mehr Höhenunterschiede und Kurvigkeiten aufwies, konnte eine stärkere Geschwindigkeitsreduzierung festgestellt werden. Das Mindestabstandszeichen führte, wie vermutet, zu größeren Abständen zwischen den Fahrzeugen und zusätzlich zu einer – allerdings nicht ausreichend signifikanten – Geschwindigkeitsreduzierung von ca. 1 km/h. Das Hinweisschild auf rutschige Straßenverhältnisse hatte dagegen keine wesentlichen Auswirkungen auf die Sicherheitsabstände (RÄMÄ & KULMALA 2000).

Eine Folgestudie von LUOMA ET AL. (2000) konnte zudem feststellen, dass die beiden Warnhinweise weitere Auswirkungen auf die Verkehrsteilnehmer haben. Nur 2 % der interviewten Fahrer gaben an, dass das Mindestabstandszeichen keinen Einfluss auf ihr Verhalten hatte. Bei dem Hinweisschild für rutschige Straßenverhältnisse gaben dies 11 % der Interviewten an. Zu den grundlegendsten Auswirkungen zählen, neben der Geschwindigkeit und dem Abstand, die Steigerung der Aufmerksamkeit in Bezug auf potenzielle Gefahren, die Prüfung der Straßenglätte und ein vorsichtiges Überholverhalten. Außerdem wurde festgestellt, dass sich die Durchschnittsgeschwindigkeiten als Reaktion auf die Geschwindigkeitsbeschränkungen stärker reduzieren, wenn die Wetter- und Straßenbedingungen nicht leicht zu erkennen sind (MAIER & GRÖTSCH 2016, RÄMÄ 2001).

KOLISETTY ET AL. (2005) untersuchten mit Hilfe von (allerdings hier nicht repräsentativen) 10 Testpersonen, den Einfluss von WVZ auf das Geschwindigkeitsverhalten von Verkehrsteilnehmern bei Nebel, mit Hilfe einer Simulation auf einem 8,5 km langen Abschnitt in Oyamazaki, Japan. Das WVZ beinhaltete neben einer Warnung vor Nebel auch eine Geschwindigkeitsbeschränkung auf 60 km/h. Die mittels einer Varianzanalyse (ANOVA) erworbenen Ergebnisse kategorisierten sie in effektiv (Geschwindigkeitsreduzierung um mehr als 10 km/h), marginal

(5 - 10 km/h) und keine Wirkung (weniger als 5 km/h).

40 % der Probanden reduzierten ihre Geschwindigkeit um mehr als 10 km/h, bei weiteren 40% gab es einen marginalen Effekt und bei 20% der Verkehrsteilnehmer keinen Effekt. Auch frühere Studien zeigten, dass witterungsbedingte Schaltungen die mittlere Geschwindigkeit bei Nebel um 8 bis 10 km/h senkte. Dabei wurde eine Geschwindigkeitsbeschränkung im Nebel von 100 km/h auf 80 km/h oder 60 km/h gesenkt (RÄMÄ 2001).

Neben der Verwendung gängiger makroskopischer Kenngrößen zur Beurteilung des Einflusses von Witterung oder der Beeinflussung durch SBA auf den Verkehrsablauf wie Verkehrsstärke, mittlere Geschwindigkeit oder Verkehrsdichte, können auch mikroskopische Kenngrößen hinzugezogen werden. Diese ermöglichen eine präzisere Beurteilung, wie beispielsweise der Verkehrssicherheit. Dazu dient u.a. die Kenngröße TTC.

MAIER & GRÖTSCH (2016) konnten bei der Anzeige einer Geschwindigkeitsbegrenzung von 80 km/h und dem zusätzlichen Warnzeichen „Schleudergefahr“ eine günstigere TTC-Verteilung bei Nässe

nachweisen, als wenn an Anzeigequerschnitten nur die Geschwindigkeitsbeschränkung geschaltet wurde. In der Studie von MAGET (2010) stellte die TTC-Analyse hingegen keinen direkten Zusammenhang zwischen den Witterungseinflüssen und der Verkehrssicherheit fest.

Interne Untersuchungen der zuständigen Betreiber verschiedener SBA in Bayern, Bremen und Niedersachsen zeigen, dass auch die Fahrbahnoberfläche einen großen Einfluss auf die Akzeptanz und Wirksamkeit witterungsbedingter Schaltungen hat. So ist insbesondere bei OPA-Oberflächen erkennbar, dass nur bei einer sorgfältigen Parametrierung der Nässestufen plausible Schaltungen aufgrund von Niederschlag bzw. Nässe Plausibilität und damit Akzeptanz hinsichtlich der Schaltungen gegeben ist, da sich diese Oberfläche völlig anders verhält als beispielsweise Betonoberflächen.

Aus allen Studien und Untersuchungen geht hervor, dass es schwierig ist, die zu untersuchenden Einflussfaktoren eindeutig voneinander zu trennen, um eine verwertbare Aussage über deren jeweilige Wirkung bzw. Wirksamkeit zu erhalten. Wichtig ist demnach, ein hierfür geeignetes Mess- und Auswertungskonzept zu finden und anzuwenden.

3 Konzeption für die Auswertung

3.1 Konzept zum Aufbau der Datenbasis

Das wesentliche Ziel dieser Forschungsarbeit liegt auf der Auswertemethodik. Grundlage dafür ist die Konzeption einer umfassenden Datenbank zur Analyse von Verkehrs-, Umfeld,- und Schaltdaten, die es ermöglicht die umfangreiche Datenbasis strukturiert zu analysieren.

Mittels der Datenbank soll es möglich sein, Daten von verschiedenen Standorten (Streckenabschnitte in unterschiedlichen Regionen und somit Witterungsverhältnissen, wie beispielsweise Landregen oder Nebelbänke in Fluss- bzw. Küstennähe), Witterungsereignissen (Schnee, Regen, Nebel), jahreszeitlichen Einflüssen, Sensorkonstellationen (welche Kenngrößen werden erfasst), Oberflächenkonstellationen (z. B. Beton, Asphalt, OPA) und verkehrlichen Situationen (wenig Verkehr, viel Verkehr, Ballungsraum, Freizeitverkehr, unterschiedliche Anzahl der Fahrstreifen, ...) mit und ohne SBA zu speichern und zu filtern.

Im Zuge dieses Projekts sollen Streckenabschnitte aus fünf verschiedenen Bundesländern in die Auswertung mit einfließen. Die Daten werden i.d.R. in betreiberspezifischen Datenformaten übermittelt. In einem ersten Schritt muss daher eine Standardisierung der Datenformate vorgenommen werden, in denen beispielsweise unterschiedliche Fehlercodes, unterschiedliche Codierungen von Enumerationen oder unterschiedliche Tabellenformate (auch innerhalb eines Bundeslandes) in den überlassenen Daten homogenisiert werden.

Der SQL-Datenbank wird daher ein standardisiertes Datenmodell vorangestellt, in welches die aufbereiteten Daten geschrieben werden.

Das Datenmodell (s. Abbildung 3-1) setzt sich dabei aus verschiedenen Tabellen zusammen, in denen verschiedene Informationen gespeichert sind.

- **Daten:** In der Datentabelle werden detaillierte Verkehrsdaten (Verkehrsstärke, Geschwindigkeit, Belegungsgrad, Schwerverkehrsanteil, ...), Umfelddaten und Schaltdaten zeitlich synchronisiert abgelegt.
- **Streckenbezug:** In der Datentabelle wird ein räumlicher Bezug des betrachteten Messquerschnitts zu den angrenzenden Anzeigequerschnitten (AQ) und Messquerschnitten (MQ) hergestellt. Neben der Angabe der Kennung und der Abstände der angrenzenden AQ und MQ, erfolgt eine Streckenbeschreibung (s. Abbildung 3-2).
- **Standort:** In der Datentabelle werden standort- und streckenspezifische Gegebenheiten benannt, wie beispielsweise der durchschnittliche tägliche Verkehr (DTV), Streifigkeit oder der Kilometrierung. Gleichzeitig können hier – falls vorhanden – weitere Informationen zur Topografie, Fahrbahnbelag, Kurvigkeit, etc. gespeichert werden.
- **Infrastruktur:** In der Datentabelle erfolgt die Zuordnung der standortspezifischen Sensorik.

Der Streckenbezug orientiert sich am Hauptelement, dem MQ. Diesem wird neben den zugehörigen Umfelddaten der zugehörige AQ zugeordnet, der entweder direkt am MQ-Standort positioniert ist oder (kurz) stromauf- oder abwärts gelegen ist. Für die Modellierung der Harmonisierungswirkung kann dem Hauptstandort auch der stromaufwärts gelegene AQ_{vor} (damit die Schaltung, die beim Erreichen des Haupt-AQ aktiv war, bekannt ist) sowie der stromabwärts liegende MQ/AQ_{nach} zugewiesen werden (damit können am MQ_{nach} die Schaltauswirkung des Haupt-AQ interpretiert werden, der AQ_{nach} kann Auskunft über Trichterschaltungen geben, die auf den Haupt-AQ wirken).

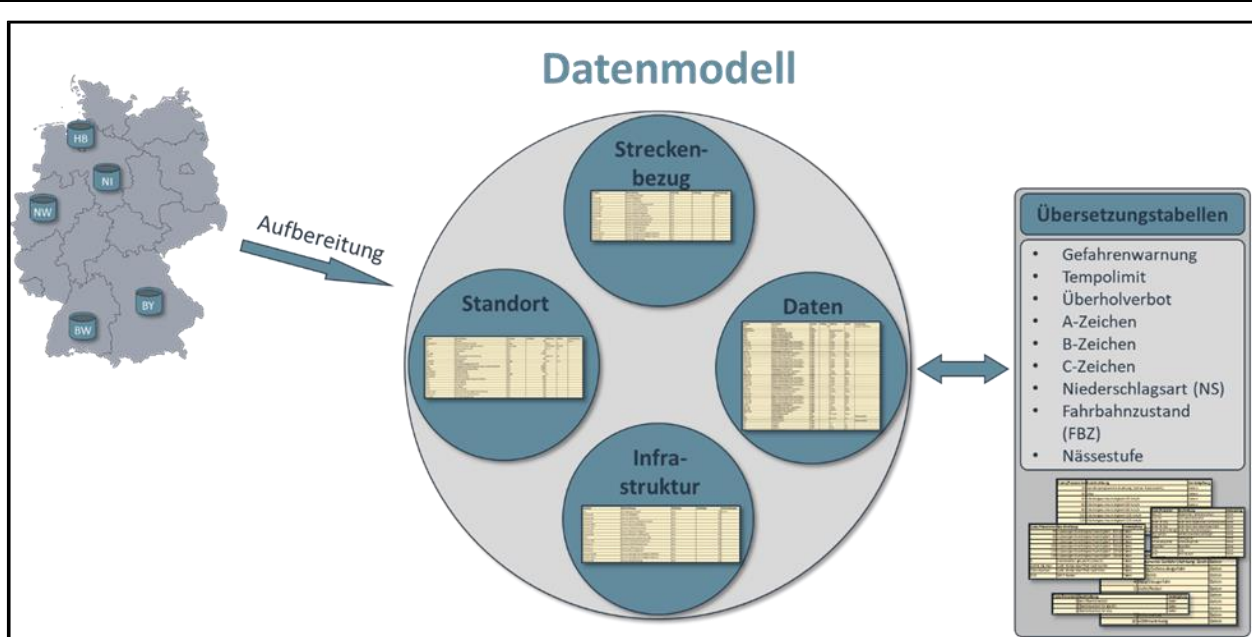


Abbildung 3-1: Konzept Datenmodell

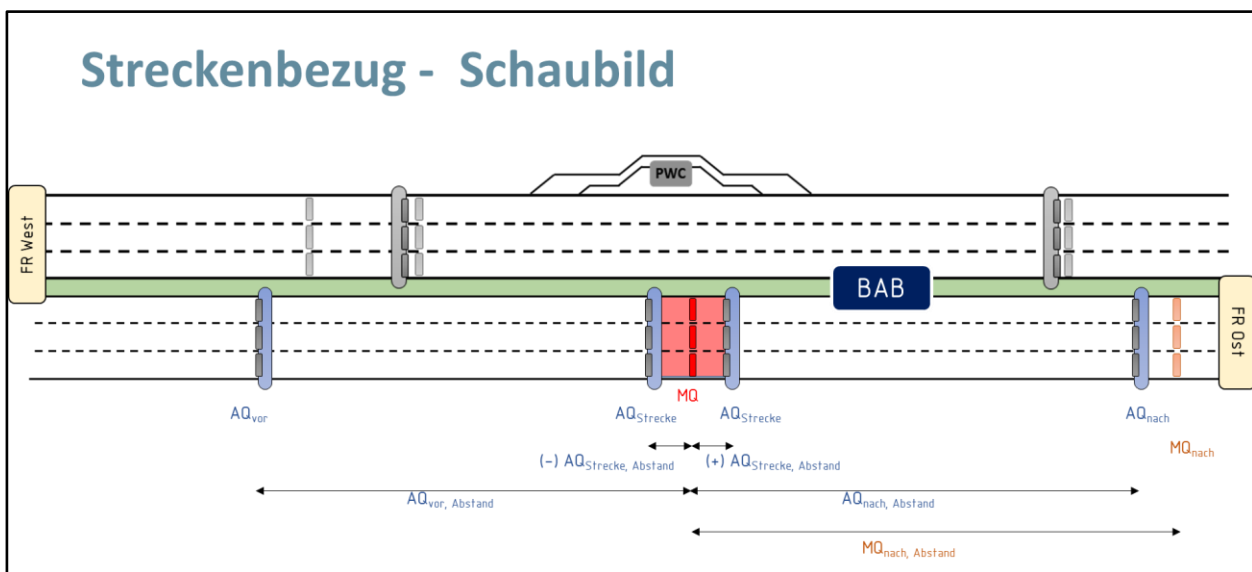


Abbildung 3-2: Streckenbezug

Die drei Haupttabellen sind nach dem folgenden Schema aufgebaut:

- Attribut
- Beschreibung
- Datentyp
- Textlänge
- Auflösung
- Einheit
- Verknüpfung
- Bemerkung

Schalt- und Witterungsdaten werden teilweise mit standardisierten Codes dargestellt. Es bedarf daher

mehrerer Übersetzungstabellen, die mit den zugehörigen Attributen in den Haupttabellen verknüpft sind. Die Übersetzungstabellen werden für jeweils folgende Attribute notwendig:

- Gefahrenzeichen
- Tempolimit
- Überholzeichen
- A-, B- sowie C-Zeichen
- Niederschlagsart, bzw. Nässestufe (NS)
- Fahrbahnzustand (FBZ)

Die Daten jedes Standorts werden in das im Datenmodell vorgegebene Format gebracht. Dabei ist der

Standort als der Punkt bzw. MQ definiert, an dem die Daten erfasst wurden. An diesem Standort fließen die Informationen aus MQ, UDE und AQ zusammen. Dass die jeweiligen Sensoren teils räumlich auseinanderliegen, ist für die Untersuchung nicht relevant und wird vernachlässigt. Durch Kombination von MQ und UDE ergeben sich aus den 33 MQ insgesamt 38 sog. Standorte, welche in Anhang 8 aufgelistet sind.

Lage, Bezeichnungen sowie standortspezifische Eigenschaften der einzelnen MQ und AQ werden in der nachfolgenden Tabelle 3-1 aufgelistet.

Einen Überblick über das Datenmodell bietet Anhang 1.

Tabelle 3-1: Lage und Bezeichnungen der Messquerschnitte

BAB	Bundesland	Fahrtrichtung	BAB-km	FS	Bezeichnung MQ	Bezeichnung AQ	DTV [Kfz/24h]	SV [%]	Topographie	Verkehrslage	Fahrbahn Material
A27	Bremen	Hannover	76,799	3	MQ_27_030 H	AQ_27_030 H	51100	9,0	Ebene, Felder	Morgens Berufsverkehr, häufig mit Stau	Beton
A27	Bremen	Hannover	74,916	3	MQ_27_040 H	AQ_27_040 H	51100	9,0	Ebene, Felder	Morgens Berufsverkehr, häufig mit Stau	Beton
A27	Bremen	Hannover	73,268	3	MQ_27_050 H	AQ_27_050 H	51100	9,0	Ebene, Felder	Morgens Berufsverkehr, häufig mit Stau	Beton
A27	Bremen	Hannover	73,268	3	MQ_27_055 H	AQ_27_050 H	51100	9,0	Ebene, Felder	Morgens Berufsverkehr, häufig mit Stau	Beton
A27	Bremen	Hannover	71,953	3	MQ_27_060 H	AQ_27_060 H	51100	9,0	Ebene, Felder	Morgens Berufsverkehr, häufig mit Stau	Beton
A27	Bremen	Cuxhaven	71,953	3	MQ_27_100 CUX	-	51100	9,0	FR CUX Übergang von 2 auf 3 Fahrstreifen		Beton
A27	Bremen	Cuxhaven	76,85	3	MQ_27_110 CUX	-	51100	9,0	FR CUX Übergang von 2 auf 3 Fahrstreifen		Beton
A4	NRW	Aachen	31,1	3	MQ_A4_22	4,22a-AQ	76000	18,0	Felder, Seennähe	Pendler und Fernverkehr, hoher Güterverkehr	HFS Beton, Asphalt
A4	NRW	Aachen	28,5	3	MQ_A4_22a	4,22a-AQ	76000	18,0	Felder, Seennähe	Pendler und Fernverkehr, hoher Güterverkehr	HFS Beton, Asphalt
A4	NRW	Köln	91,4	2	MQ_A4_230	-	75000		Testfeld A4 der BASI		Asphalt
A4	NRW	Köln	92,8	2	MQ_A4_240	-	75000		Testfeld A4 der BASI		Asphalt
A4	NRW	Aachen	16,7	3	MQ_A4_25b	4,26-AQ	79000	16,0	leichte Anhöhe (Plateau), Felder, Nebelhäufigkeit	Pendler und Fernverkehr, hoher Güterverkehr	HFS Beton, Asphalt
A4	NRW	Aachen	15,8	3	MQ_A4_26	4,26-AQ	79000	16,0	leichte Anhöhe (Plateau), Felder, Nebelhäufigkeit	Pendler und Fernverkehr, hoher Güterverkehr	HFS Beton, Asphalt
A4	NRW	Köln	92,5	2	MQ_A4_BASI	-	75000		Testfeld A4 der BASI	Berufsverkehr zwischen 7 und 9 Uhr, Geschwindigkeitsbegrenzung 6-10 Uhr auf 100km/h, LKW Überholverbot	Asphalt
A44	NRW	Dortmund	132,4	2	MQ_1324_FR_Dortmund	A44-1335-AQ	7200	19,0	Ebene, Felder	Pendler und Fernverkehr, hoher Güterverkehr	Asphalt
A44	NRW	Dortmund	133,5	2	MQ_1335_FR_Dortmund	A44-1335-AQ	7200	19,0	Ebene, Felder	Pendler und Fernverkehr, hoher Güterverkehr	Asphalt
A44	NRW	Kassel	133,5	2	MQ_1335_FR_Kassel	-	72000	19,0	Ebene, Felder	Pendler und Fernverkehr, hoher Güterverkehr	Asphalt
A44	NRW	Kassel	132,4	2	MQ_1367_FR_Kassel	-	72000	19,0	Ebene, Felder	Pendler und Fernverkehr, hoher Güterverkehr	Asphalt
A61	NRW	Köln	156,4	2	MQ_61_1564n	AQ61_1567n-AQ	60000	22,0	Ebene, Felder	Fernverkehr, hoher Schwerverkehr	Asphalt
A61	NRW	Köln	158,2	2	MQ_61_1582n	AQ61_1567n-AQ	60000	22,0	Ebene, Felder	Fernverkehr, hoher Schwerverkehr	Asphalt
A7	Niedersachsen	Hamburg	186,3	3	MQ_A7_HH_186_274	-	63100	15,5	Niedersächsische Börde ca. 180 m über NN	Starker Reiseverkehr in Urlaubszeiten	Beton
A7	Niedersachsen	Kassel	186,3	2	MQ_A7_KS_186_278	-	63100	15,5	Niedersächsische Börde ca. 180 m über NN	Starker Reiseverkehr in Urlaubszeiten	Beton
A8	Baden-Württemberg	München	136,897	3	MQ_A8_M09_17	NWA A8 AQ M09 FR München	71600	16,3	Alphochfläche, keine Seen, Nebelhäufigkeit hoch, ganzjährige Ereignisse, Niederschlag (Schnee, Regen, Platzregen im Sommer)	keine klassische Pendlerstrecke, mehr Fernverkehr / Urlaubsverkehr / Wochenpendler (Fr-Nachmittag)	Asphalt
A8	Baden-Württemberg	München	134,722	3	MQ_A8_M10_15	NWA A8 AQ M10 FR München	71600	16,3	Alphochfläche, keine Seen, Nebelhäufigkeit hoch, ganzjährige Ereignisse, Niederschlag (Schnee, Regen, Platzregen im Sommer)	keine klassische Pendlerstrecke, mehr Fernverkehr / Urlaubsverkehr / Wochenpendler (Fr-Nachmittag)	Asphalt
A9	Bayern	München	463	3	Manching FR1	-	50757	12,3	Donautal südlich von Ingolstadt, Querung der Sandtrach	Pendler und Urlaubsverkehr	Asphalt
A9	Bayern	Nürnberg	463	3	Manching FR2	-	50757	12,3	Donautal südlich von Ingolstadt, Querung der Sandtrach	Pendler und Urlaubsverkehr	Asphalt
A92	Bayern	Deggendorf	14	2	cp_a92_DET192-130-Deg	cp_a92_AQ92-130-Deg	103500	12,0	Gerader Abschnitt, Längs- und Querneigung ist für eine Fahrbahn in der Ebene mit 2,5 % ausgeführt	Tagesganglinien weisen ausgeprägte Morgen und Abendspitzen auf, Verkehrsnachfrage mit Betriebszeiten des Flughafens verknüpft (Asphalt)	Beton mit Black-Topping (Asphalt)
A92	Bayern	Deggendorf	14	2	cp_a92_DET192-130P-Deg	cp_a92_AQ92-130-Deg	103500	12,0	Gerader Abschnitt, Längs- und Querneigung ist für eine Fahrbahn in der Ebene mit 2,5 % ausgeführt	Tagesganglinien weisen ausgeprägte Morgen und Abendspitzen auf, Verkehrsnachfrage mit Betriebszeiten des Flughafens verknüpft (Asphalt)	Beton mit Black-Topping (Asphalt)
A92	Bayern	Deggendorf	15,18	3	cp_a92_DET192-150-Deg	cp_a92_AQ92-150-Deg	103500	12,0	Gerader Abschnitt, Längs- und Querneigung ist für eine Fahrbahn in der Ebene mit 2,5 % ausgeführt	Tagesganglinien weisen ausgeprägte Morgen und Abendspitzen auf, Verkehrsnachfrage mit Betriebszeiten des Flughafens verknüpft (Asphalt)	Beton mit Black-Topping (Asphalt)
A92	Bayern	Deggendorf	16,9	3	cp_a92_DET192-160-Deg	cp_a92_AQ92-160-Deg	103500	12,0	Gerader Abschnitt, Längs- und Querneigung ist für eine Fahrbahn in der Ebene mit 2,5 % ausgeführt	Tagesganglinien weisen ausgeprägte Morgen und Abendspitzen auf, Verkehrsnachfrage mit Betriebszeiten des Flughafens verknüpft (Asphalt)	Beton mit Black-Topping (Asphalt)
A92	Bayern	München	17,12	3	cp_a92_DET192-570-Mch	cp_a92_AQ92-570-Mch	103500	12,0	Gerader Abschnitt, Längs- und Querneigung ist für eine Fahrbahn in der Ebene mit 2,5 % ausgeführt	Tagesganglinien weisen ausgeprägte Morgen und Abendspitzen auf, Verkehrsnachfrage mit Betriebszeiten des Flughafens verknüpft (Asphalt)	Beton mit Black-Topping (Asphalt)
A92	Bayern	München	15,68	3	cp_a92_DET192-580-Mch	cp_a92_AQ92-580-Mch	103500	12,0	Gerader Abschnitt, Längs- und Querneigung ist für eine Fahrbahn in der Ebene mit 2,5 % ausgeführt	Tagesganglinien weisen ausgeprägte Morgen und Abendspitzen auf, Verkehrsnachfrage mit Betriebszeiten des Flughafens verknüpft (Asphalt)	Beton mit Black-Topping (Asphalt)
A92	Bayern	München	14,155	2	cp_a92_DET192-590-Mch	cp_a92_AQ92-590-Mch	103500	12,0	Gerader Abschnitt, Längs- und Querneigung ist für eine Fahrbahn in der Ebene mit 2,5 % ausgeführt	Tagesganglinien weisen ausgeprägte Morgen und Abendspitzen auf, Verkehrsnachfrage mit Betriebszeiten des Flughafens verknüpft (Asphalt)	Beton mit Black-Topping (Asphalt)

3.2 Konzept für statistische Auswertung und Aggregation

Für die im Rahmen dieses Projekts entwickelten Wirkungsthesen (vgl. Kap. 4) wird im nachfolgenden Abschnitt ein Auswertungskonzept vorgestellt, mit dem die jeweiligen Thesen mittels statistischer Auswertungsmethoden auf ihre Aussagekraft (statistische Signifikanz) hin untersucht werden sollen.

3.2.1 Auswahl relevanter Daten

Jede Thesenuntersuchung stellt verschiedene Anforderungen an die Auswertungsmethodik und die damit verbundenen Eingangsdaten.

Die betrachteten Messdaten sind repräsentative Daten des zugrundeliegenden Verkehrs sowie der vorherrschenden Witterungsbedingungen und Schaltungen. Sie müssen in Qualität und Quantität bestimmten Anforderungen entsprechen, wobei im Rahmen dieses Forschungsvorhabens keine systematische Qualitätskontrolle vorgenommen wurde. Die Daten wurden aber einer groben Plausibilitätsprüfung unterzogen. Möglicherweise unplausible Daten wurden in bilateralen Gesprächen mit dem jeweiligen Betreiber direkt erörtert und die Vorgehensweise festgelegt.

Die Grundlage für die Studie bilden Verkehrs-, Schalt- und Umfelddaten aus fünf verschiedenen Bundesländern. Dazu zählen Nordrhein-Westfalen (NRW), Bayern (BY), Niedersachsen (NI), Bremen (HB) und Baden-Württemberg (BW).

Es liegen Daten von sowohl unbeeinflussten, als auch beeinflussten Streckenabschnitten in fahrstreifen- und querschnittsbezogen 1 min-Intervallen für den Zeitraum von Mitte 2019 bis Mitte 2021 vor, in Baden-Württemberg liegen davon abweichend die Verkehrsdaten in 15 s-Intervallen vor. Die Umfelddaten liegen in 1 min-Intervallen vor. Die Schaltdaten liegen als spontane Rückmeldungen (Ist-Zustand) vor, die dann dem Haupt-Untersuchungsintervall (15 s oder 1 min) zugeordnet werden. Einen Überblick über die erhaltenen Datentypen sowie eine Übersicht der untersuchten Streckenabschnitte liefert Tabelle 3-2.

Die Daten wurden größtenteils im csv-Format oder XML-Format, getrennt nach TLS-konformen Funktionsgruppen übermittelt und anschließend mit Tools so aufbereitet, dass die Daten in ein einheitliches

Datenformat gebracht werden konnten. Dieses Datenformat ist einerseits das Zielformat der SQL-Datenbank, andererseits kann dieses Datenformat aber auch vom sog. Datenbrowser interpretiert werden, welches die Daten in Fundamental- und Gangliniendiagrammen darstellen kann.

Im vorliegenden Fall ergibt sich die Problematik, dass zum einen die Vergleichbarkeit des Verkehrsaufkommens an einem beeinflussten und unbeeinflussten Querschnitt gewährleistet sein muss. Zum anderen müssen gleichzeitig die Witterungsbedingungen vergleichbar sein. Insbesondere bei den Witterungsbedingungen kann es zu einem kurzfristigen Wechsel der Niederschlagsintensität oder der Sichtweite kommen.

Hinzu kommt, dass die Veränderungen auch von streckengeometrischen Eigenschaften abhängig sind (z.B. Einfluss von Oberflächenart bzw. Längs- und Querneigung). Ergänzend ist zu berücksichtigen, dass selbst bei konstant bleibenden Randbedingungen der betrachteten Streckenabschnitte die stochastischen Einflussgrößen des Verkehrsflusses variieren können, dem grundsätzlich aber mit einer ausreichenden Datenmenge entgegengewirkt werden kann.

Da ideale Randbedingungen nur schwer zu erreichen sind, werden meist vereinfachte Bedingungen angenommen. SCHICK (2003) benannte diesbezüglich verschiedene Messkonzepte:

Vorher-Nachher-Vergleich: Erhebung und Vergleich der Verkehrsdaten vor und nach Inbetriebnahme der Anlage. Häufig stehen allerdings aus dem Zeitraum vor Inbetriebnahme zu wenig nutzbare Daten für einen solchen Vergleich zur Verfügung.

„Idealer“ Mit-Ohne-Vergleich: Es werden innerhalb kürzester Zeiträume (Tages-/Stundenrhythmus oder Zufallsmuster) unterschiedliche Schaltmuster, unabhängig des vorherrschenden Verkehrszustands, vom Operator per Hand geschaltet. Bei diesem Konzept ist aufgrund der manuell geschalteten Schaltbilder eine Abweichung zum vorherrschenden Verkehrszustand zu befürchten, zudem sind solche Schaltungen im Realbetrieb grundsätzlich bedenklich.

„Unechter“ Mit-Ohne-Vergleich: Erfassung der Verkehrsdaten am selben MQ in unterschiedlichen

Zeiträumen. Grundsätzlich sind die WVZ nur deaktiviert, wenn (i) es sich um einen freien Verkehrsfluss, oder (ii) um eine Fehlschaltung handelt. Daher liegen i.d.R. keine unbeeinflussten Daten in hochbelasteten Zeiträumen vor. Eine Konstanz der Daten ist daher auch nicht zwangsläufig gegeben.

Mit-Ohne-Vergleich (verschiedene Querschnitte): Vergleich von beeinflussten und unbeeinflussten Messquerschnitten an unterschiedlichen Streckenabschnitten. Dies hat zur Folge, dass aufgrund der unterschiedlichen Randbedingungen keine Konstanz der Daten gewährleistet werden kann.

Zusätzlich zu diesen Vergleichskonzepten nach SCHICK (2003) sind im Rahmen dieser Untersuchung auch „**Mit-Mit-Vergleiche**“ notwendig, um unterschiedliche Schaltungen von SBA untereinander vergleichen zu können. Auch hierbei werden die Spezifizierungen nach SCHICK (2003) „unecht“ sowie der Vergleich für verschiedene Querschnitte auf den „Mit-Mit-Vergleich“ angewendet.

Tabelle 3-2: Überblick vorhandener Daten nach Bundesland und Autobahn

	HB	BW	NRW				NI	BY	
			Straßen.NRW			BASt			
	A27	A8	A4	A44	A61	Testfeld A4	A7	A92	A9
Verkehrsdaten	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Schaltdaten		X	X	X	X			X	
Fahrbahntemperatur	X	X				X	X	X	X
Fahrbahnzustand	X	X	X		X		X	X	X
Gefriertemperatur		X					X	X	
Helligkeit	X		X	X	X			X	
Lufttemperatur	X	X			X	X	X	X	X
Niederschlagsintensität	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Niederschlagsart	X	X	X	X	X	X	X	X	X
rel. Luftfeuchte	X	X			X	X	X		X
Sichtweite	X	X	X	X	X				X
Wasserfilmdicke	X	X			X	X	X	X	X
Windgeschwindigkeit (Mittel)						X			
Windgeschwindigkeit (Spitze)						X			
Windrichtung						X			
Niederschlagsintensitätsstufe									
Nässestufe		X							
Sichtweitenstufe									
Wasserfilmdickestufe									
Restsalz	X	X					X		
NI (geglättet)	X								
Sichtweite (geglättet)	X								
Wasserfilmdicke (geglättet)	X								
Luftdruck							X		
Taupunkttemperatur							X		
Taupunkttemperatur (Luft)		X							
Taupunkttemperatur (Fahrbahn)		X					X		
TemperaturInTiefe1							X		
TemperaturInTiefe2									
TemperaturInTiefe3							X		
Taustoffe							X		

Da im Rahmen dieses Projekts keine Verkehrsdaten vor Inbetriebnahme einer Anlage vorliegen sowie keine definierten Handschaltungen des Opera-

tors vorgenommen werden, kommt hier nur ein „unechter Mit-Ohne-Vergleich“ bzw. „unechter Mit-Mit-Vergleich“ und ein „Mit-Ohne-“ bzw. „Mit-Mit-Vergleich“ (für verschiedene Querschnitte) in Frage.

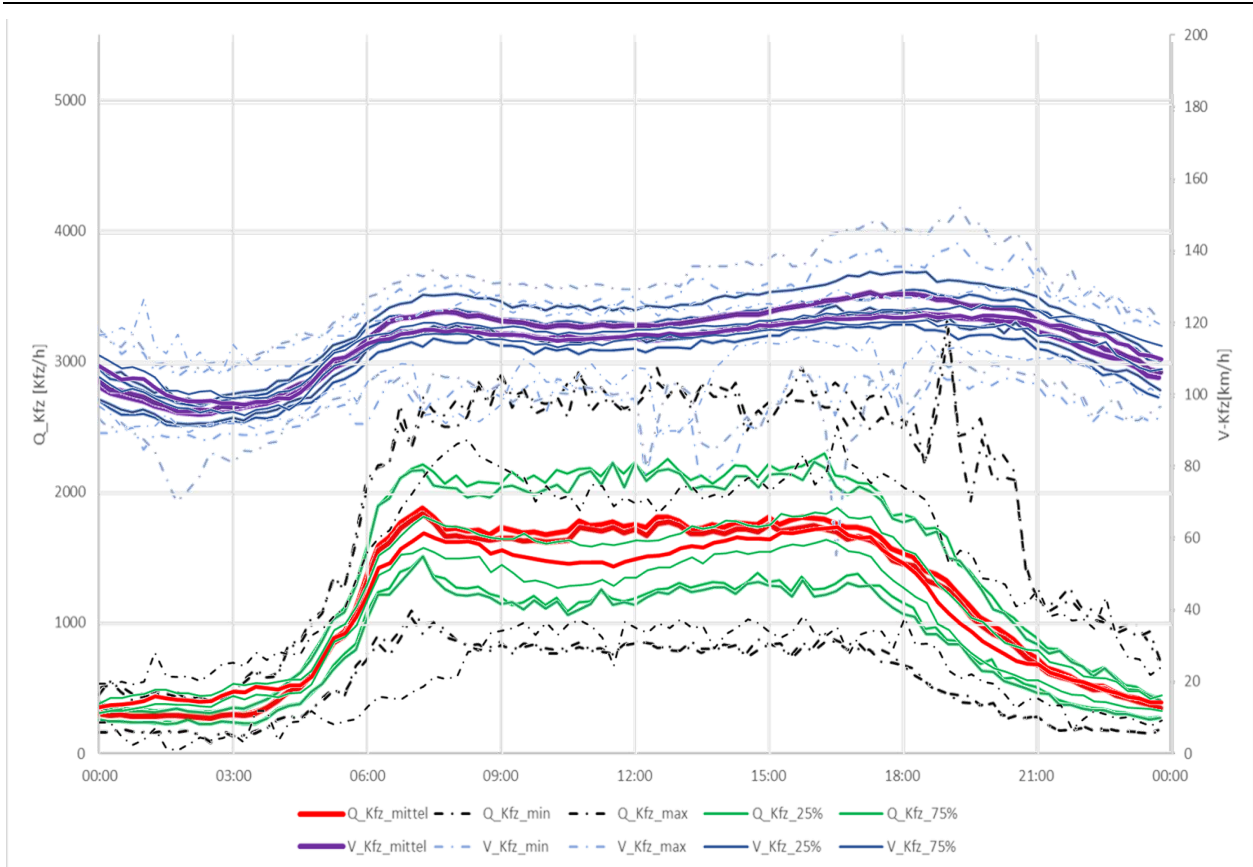


Abbildung 3-3 Bildung von MQ-Gruppe 8 durch die Überlagerung der mittleren Verkehrsstärke- und Geschwindigkeitstagesganglinien der einzelnen MQ

Je nach Auswahl der These und den damit verbundenen relevanten Eingangsdaten ist eines dieser beiden Verfahren zu wählen, wobei jeweils zwei grundsätzliche Bedingungen zu berücksichtigen sind:

- i. An den untersuchten Messquerschnitten müssen ähnliche verkehrliche Bedingungen herrschen (Verkehrsstärke, Geschwindigkeit, SV-Anteil, Dichte). Ebenso müssen vergleichbare örtliche Bedingungen, wie beispielsweise die gleiche Streifigkeit oder Oberflächenbeschaffenheit (Beton, Asphalt, OPA) vorliegen. Weitere Bedingungen wie streckenspezifische Längs-/Quergefälle oder topografische/meteorologische Besonderheiten werden bei der Gegenüberstellung nur nachrichtlich übernommen, da sonst zu erwarten ist, dass eine Vergleichbarkeit zweier Datensätze mit den umfangreichen Randbedingungen nur noch sehr eingeschränkt möglich ist.
- ii. An den untersuchten Streckenabschnitten müssen in dem betrachteten Untersuchungszeitraum vergleichbare Witterungsbedingungen

wie Nässe, Nebel oder Schnee herrschen. Auch hier werden verschiedene Sensorik oder topografische/metrologische Besonderheiten bei der Findung von Paaren nur zweitrangig betrachtet, um eine zu große Einschränkung der zu verwendenden Daten zu vermeiden.

Eine Gruppierung von Messquerschnitten durch die jeweils lokalen Witterungsbedingungen zur Bildung von Vergleichsfällen erfolgt nicht, da hier der Einfluss der Witterungsbedingungen auf vergleichbare Verkehrszustände untersucht werden soll. Demnach erfolgt die Vergleichbarkeit über die Bildung von Gruppen mit ähnlichen verkehrlichen Bedingungen (Verkehrsstärke, Geschwindigkeit, Anzahl der Fahrstreifen). Innerhalb der Gruppen werden die Querschnitte entsprechend der vorhandenen Ausstattung gekennzeichnet. Die exemplarische Bildung einer Gruppe (hier Gruppe 8) lässt sich mit den (querschnittsbezogenen) Ganglinien

- MQ_A8_M09 (BW),
- MQ_A8_M10 (BW) und
- MQ_A7_HH_186,274 (NI)

Durchführen und in Abbildung 3-3 darstellen. Ausreißer und unplausible Daten wurden dafür im Voraus herausgefiltert.

Die roten Linien beschreiben die mittleren Verkehrsstärken der jeweiligen MQ, während grüne Linien dabei das zugehörige 25- und 75-% Quartil umranden. Werte außerhalb dieser Quartile, bzw. die Minimal- und Maximalwerte werden mit einer Strich-Punkt-Linie dargestellt. Die Darstellung der Geschwindigkeiten laufen über dasselbe Prinzip. Die violette Linie gibt dabei die mittlere Geschwindigkeit wieder, während die blauen Linien die Quartile und

die Strich-Punkt-Linien die Minimal- und Maximalwerte abbilden.

Erst wenn beide mittleren Ganglinien nahezu deckungsgleich sind, können die zugehörigen MQ gruppiert werden. Die Bildung weiterer MQ-Gruppen kann im Anhang 3 nachvollzogen werden.

Mit der Bildung weiterer Gruppen ergibt sich am Ende eine Übersicht mit allen MQ (s. Tabelle 3-3). Sämtliche Bezüge im Verlauf dieser Untersuchung beziehen sich dabei auf diese Tabelle und den zur Gruppe spezifischen Nummerierungen.

Tabelle 3-3 Übersichtstabelle der verkehrlich vergleichbaren MQ und dessen vorhandener sensorischer Ausstattung

Nr	FS	MQ ohne SBA	SW	NI	WFD	FBZ	HK	MQ mit SBA	SW	NI	WFD	FBZ	HK
1	2							MQ_1324_FR_Dortmund	x	x			x
								MQ_1335_FR_Dortmund	x	x			x
								MQ_61.1582n	x	x	x	x	x
								MQ_61.1564n	x	x	x	x	x
							cp_a92.DET92-130P-Deg	x	x			x	
2	2	MQ_1335_FR_Kassel	x	x			x						
		MQ_1367_FR_Kassel	x	x			x						
3	2	MQ_A4.240		x	x								
		MQ_A4.230		x	x								
4	3	Manching FR2	x	x	x	x		MQ_A4.22	x	x		x	x
		MQ 27.100 CUX	x	x	x	x	x	MQ_A4.22a	x	x		x	x
		MQ 27.110 CUX	x	x	x	x	x						
5	3							MQ 27.030 H	x	x	x	x	x
								MQ 27.040 H	x	x	x	x	x
								MQ 27.050 H	x	x	x	x	x
								MQ 27.055 H	x	x	x	x	x
6	3							cp_a92.DET92-150-Deg	x	x	x	x	x
								cp_a92.DET92-160-Deg	x	x			x
7	3	Manching FR1	x	x	x	x		cp_a92.DET92-570-Mch	x	x			x
								cp_a92.DET92-580-Mch	x	x			x
8	3	MQ_A7_HH_186,274		x	x	x		MQ_A8_M09_17	x	x	x	x	
								MQ_A8_M10_15	x	x	x	x	
								MQ 27.060 H	x	x	x	x	x
9	3							MQ_A4.25b	x	x		x	x
								MQ_A4.26	x	x		x	x

Die verwendeten Kurzformen in den Spalten sind identisch zu den Kurzformen im Abkürzungsverzeichnis, werden aber im Folgenden nochmal für eine bessere Übersicht zusammengefasst:

- SW = Sichtweitensensor
- NI = Niederschlagsintensitätssensor
- WFD = Sensor zur Messung der Wasserfilmdicke
- FBZ = Sensor zur Messung des Fahrbahnzustandes (bspw. trocken, nass, etc.)
- HK = Helligkeitssensor

Ohne Zuordnung in eine vergleichbare Gruppe bleiben am Ende drei MQ mit jeweils zwei Fahrstreifen:

- cp_a92.DET92-590-Mch (BY)
- cp_a92.DET92-130-Deg (BY)
- MQ_A7_KS_186,278 (NI)

Für die Durchführung statistischer Analysen müssen sowohl Daten eines (unbeeinflussten) Standorts mit und ohne zu untersuchendes Witterungsereignis (Wirkung der Witterung auf den Verkehrsablauf) als auch Daten je eines beeinflussten und eines unbeeinflussten Standorts bei vergleichbaren Verkehrs- und Witterungsbedingungen (Wirkung

und Wirksamkeit einer witterungsbedingten Maßnahme) zusammengestellt werden.

Zur Untersuchung der Wirkung von Witterungseignissen (unabhängig einer Beeinflussung) werden nur die aggregierten Zeitpunkte berücksichtigt, an denen keine verkehrsbedingte Beeinflussung stattfindet. Dadurch lassen sich Witterungseinflüsse größtenteils isolieren und bewerten.

In Zeiten von COVID-19 sinkt der Anteil verkehrsbedingter Schaltungen im Vergleich zum Zeitraum vor Corona (bis 16.03.2020), wodurch sich die Datengrundlage für (rein) witterungsbedingte Schaltungen erhöht. Dabei werden im Zeitraum des vorliegenden Forschungsvorhabens folgende Phasen der Corona-Pandemie unterschieden:

- Vor Corona (bzw. vor 1. Lockdown ab 16.03.2020)
- 1. Lockdown von 16.03 bis 04.05.2020
- Zwischenzeit von 05.05 bis 01.11.2020
- Lockdown light von 02.11 bis 15.12.2020
- 2. Lockdown von 16.12 bis 22.04.2021
- Vom 23.04 bis Ende der Datenlieferung am 30.06.2021

Der genaue Einfluss von COVID-19 lässt sich in Kapitel 6.3 nachvollziehen.

Für die Untersuchung der Wirkung und Wirksamkeit von witterungsbedingten Maßnahmen müssen sowohl beeinflusste und unbeeinflusste Daten gegenübergestellt werden. Dafür müssen Paare gefunden werden, bei denen vergleichbare Verkehrsbedingungen vorherrschen. Diesem Schritt kann man sich aus zwei Richtungen annähern:

Zum einen können vor der Untersuchung der Witterungseinflusses Paare von beeinflussten und unbeeinflussten Streckenabschnitten gebildet werden, wobei jedoch auf eine Konsistenz der Randbedingungen zu achten ist (Streifigkeit, Wochentag, etc.). Dafür werden immer je ein unbeeinflusster und ein beeinflusster Abschnitt gegenübergestellt, deren Vergleichbarkeit vorab mittels statistischer Tests daraufhin überprüft werden muss, ob die verkehrlichen Zusammenhänge der beiden Abschnitte statistisch signifikant sind oder nur zufällig zustande

kommen. Im weiteren Verlauf müssten dann die gebildeten Paare auf vergleichbare Witterungseignisse hin untersucht werden.

Zum anderen kann im Vorfeld nach vergleichbaren Witterungseignissen gesucht werden, bei denen beispielsweise ähnliche Niederschlagsintensität und -dauern oder Sichtverhältnisse zu erkennen sind. Diese Herangehensweise bietet den Vorteil, dass aufgrund einer zu erwartenden geringeren Anzahl von Ereignissen bei widrigen Witterungsbedingungen schneller vergleichbare Situationen ermittelt werden können, bei denen dann im Anschluss nur noch die jeweiligen Verkehrsverhältnisse auf ihrer Vergleichbarkeit hin untersucht werden müssen. Sind bei dem vorherrschenden Witterungseignis keine vergleichbaren Verkehrsverhältnisse zu ermitteln, muss dieser Schritt solange wiederholt werden, bis dieser Fall eintritt. Da die Streckenabschnitte mit einem entsprechenden Witterungseignis bereits im Vorfeld eingegrenzt werden können, ist bei diesem Weg ein geringerer Rechen- und Zeitaufwand zu erwarten.

Eine Verbesserung der statistischen Signifikanz kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass durch die Integration weiterer Daten mehr Paare gebildet werden können. Sofern die statistische Signifikanz nachgebildet werden kann, müssen keine zusätzlichen Daten für einen betrachteten Fall mehr untersucht werden. Im Rahmen dieses Projektes werden Daten in dem Zeitraum zwischen Mitte 2019 und Mitte 2021 erhoben, um eine umfangreiche Datenbasis zu erhalten.

In diesem Projekt werden bei der Auswertung keine individuellen parametrisierten Schaltalgorithmen der einzelnen Betreiber herangezogen, sondern die Schaltbedingungen aus dem MARZ 2018 für alle vorliegenden Verkehrsdaten angewendet. Das führt dazu, dass die verkehrlichen Bedingungen der einzelnen Messquerschnitte vergleichbar bleiben, da sich im Hinblick auf die Schaltdaten die örtliche Situation nicht rekonstruieren lässt. Ein Nachteil dieser Methodik liegt darin, dass witterungs- oder verkehrsbedingt „beeinflusster“ Verkehr als „nicht beeinflusst“ klassifiziert werden könnte, da der Schaltalgorithmus eines Betreibers zu restriktiveren Schaltungen führen könnte und umgekehrt.

3.2.2 Streckenbezug

Für eine zusätzliche Berücksichtigung des Streckenbezugs (s. Kapitel 3.1) sind bei der Analyse verschiedene Aspekte zu beachten. Zum einen muss wie in Abbildung 3-4 der vorgelagerte MQ am betrachteten Standort einen AQ vorweisen, welcher eine witterungsabhängige Schaltung vorgibt. Dabei wird angenommen, dass sich der Verkehr nach der Wahrnehmung der Schaltung am AQ-Standort auf die vorgegebene Geschwindigkeit einstellt, also bei AQ_{Strecke}. Demnach sollte theoretisch am stromabwärts gelegenen MQ_{nach} ein an die Schaltung ange-

passtes Geschwindigkeitsniveau gemessen werden können. Für den Fall, dass am stromabwärts gelegenen MQ_{nach} ebenfalls ein AQ vorhanden ist, so wird angenommen, dass der Fahrer seine gefahrene Geschwindigkeit an die Schaltung dieses AQ_{nach} anpasst, sobald er diesen wahrnimmt. Daher sollte der MQ_{nach} deutlich stromaufwärts des AQ_{nach} gelegen sein, damit am MQ_{nach} die Wirkung des AQ_{Strecke} noch gemessen werden kann. Zudem könnte je nach Abstand zwischen AQ_{Strecke} und MQ_{nach} ($d_{Wirkung}$) die geschaltete Geschwindigkeitsbegrenzung in Vergessenheit geraten, sodass kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Standorten feststellbar wäre.

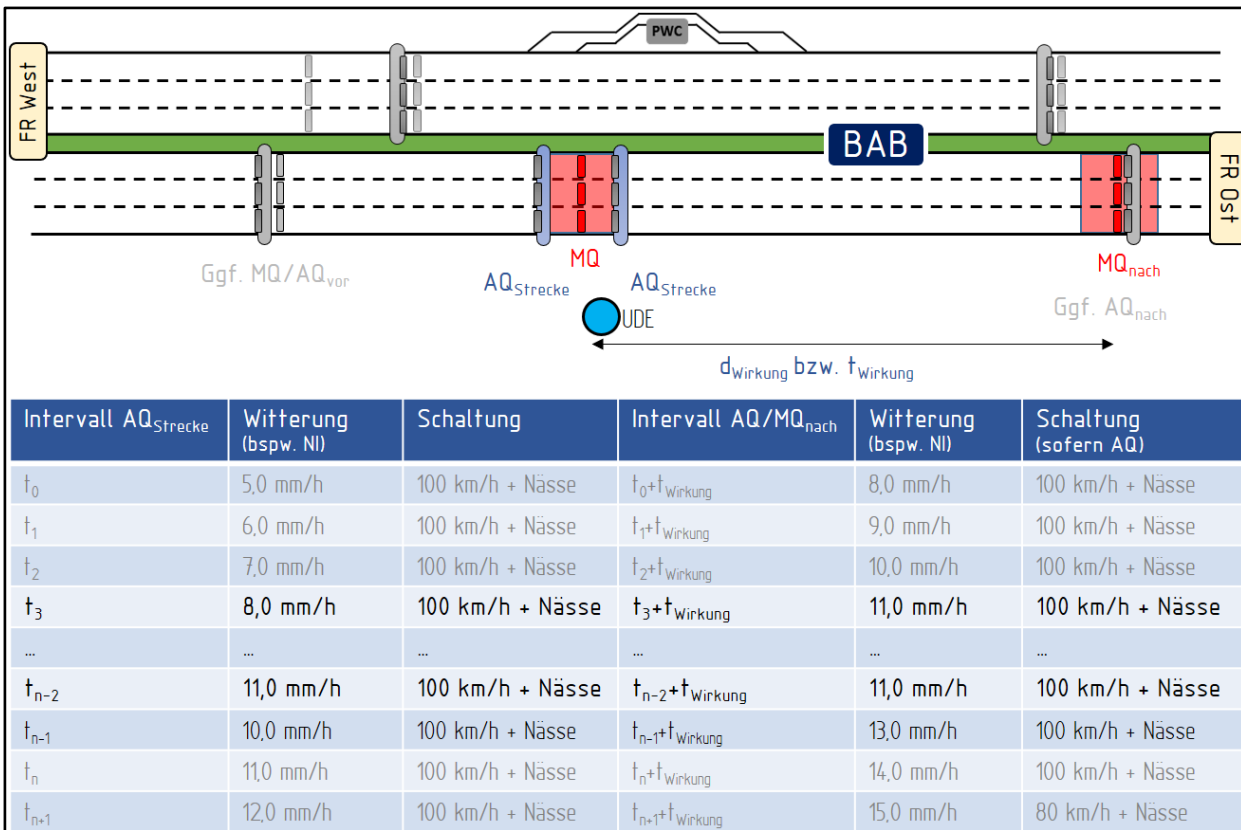


Abbildung 3-4: Berücksichtigung des Streckenbezugs bei der Analyse

Für die Analyse dieses Streckenbezuges ist daher der Abstand $d_{Wirkung}$ maßgeblich, da dieser durch unterschiedliche Geschwindigkeiten in unterschiedlichen Zeiten ($t_{Wirkung}$) zurückgelegt werden kann.

Für das dargestellte Beispiel sei angenommen, dass $t_{Wirkung}$ ca. 3 min lang ist. Daher müsste bei der Analyse, abzüglich der 3 min zu Beginn des Zeitraumes eine aufeinanderfolgende Reihe von Intervallen gefunden werden, welche am AQ_{Strecke} und am

AQ_{nach} (falls vorhanden) dieselbe Schaltung aufweisen (t_3 bis t_{n-3}). Die Intervalle des stromabwärts liegenden MQ werden durch das Addieren der Fahrzeit von $t_{Wirkung}$ bestimmt. Sollte sich die Schaltung am AQ_{Strecke} oder am AQ_{nach} ändern, endet das Auswertintervall für den Streckenbezug. Es sollte für die Analyse ein gewisser Mindestwert (hier: 3 min gewählt) für die Anzahl der Intervalle definiert werden, wobei die Analyse der Intervalle je nach Schaltung getrennt werden muss. Zudem sollte die zu

analysierende Schaltung mindestens 10 min lang stabil anstehen.

Hinzu kommt das träge Verhalten der SBA (Hysterese), diese schaltet erst ein gewisses Schaltbild (ein oder aus), wenn eine bestimmte Witterung über einen bestimmten Zeitraum (nicht mehr) wirkt (i.d.R. nach ca. 3 min). Daher müsste bei der Analyse, abzüglich der 3 min zu Beginn und zum Ende des Zeitraumes eine aufeinanderfolgende Reihe von Intervallen gefunden werden, welche dieselbe Schaltung aufweisen (t_3 bis t_{n-3}). Die Intervalle des stromabwärts liegenden MQ werden durch das addieren der Fahrzeit von $t_{Wirkung}$ bestimmt. Sollte es sich dabei stromabwärts um einen weiteren AQ handeln, muss dieser dasselbe Schaltbild wie der vorgelagerte AQ anzeigen. Im Streckenabschnitt $d_{Wirkung}$ ist es möglich, dass langsamere Fahrzeuge schneller werden und auf den Überholfahrstreifen wechseln oder umgekehrt. Diese Fahrzeuge beeinflussen somit zwei verschiedene Fahrstreifen. Darüber hinaus müssen die definierten MQ-Gruppen weiter so angepasst werden, dass aufeinanderfolgende MQ-Gruppen übrigbleiben. Darüber hinaus ist es sinnvoll, einen gewissen Mindestwert für die Anzahl der Intervalle zu definieren, wobei die Analyse der Intervalle je nach Schaltung getrennt werden muss.

Die Analyse des Streckenbezugs ist nur für Standorte mit SBA sinnvoll, an denen es Daten für einen stromabwärts gelegenen MQ gibt, der nicht direkt am Ort eines AQ liegt bzw. ausreichend weit stromaufwärts des nächsten AQ_{nach} liegt. Da in den untersuchten SBA in Baden-Württemberg, Bremen und Bayern die MQs am Ort des AQ positioniert sind, kann die Analyse nur auf die Standorte in NRW angewendet werden. Hierzu können die Daten der A4 zwischen Köln und Aachen (Fahrtrichtung Aachen, 2 Standorte), der A44 in Fahrtrichtung Dortmund und der A61 in Fahrtrichtung Köln (je ein Standort) verwendet werden. Eine Liste des modellierten Streckenbezugs ist in Anhang 7 dokumentiert.

3.2.3 Auswahl geeigneter Darstellungsformen

Um eine zu untersuchende These vorab auf ihre Plausibilität hin zu überprüfen, können mit Hilfe des Datenbrowsertools relevante Ganglinien- oder Fundamentaldiagramme angezeigt werden. So kann beispielhaft für eine These, bei der der Einfluss der Niederschlagsintensität auf den Verkehrsablauf un-

tersucht werden soll, verschiedene Darstellungsformen gewählt werden (s. Abbildung 3-5 bis Abbildung 3-7). Alle verfügbaren Darstellungsformen sind im Anhang 2 dokumentiert.

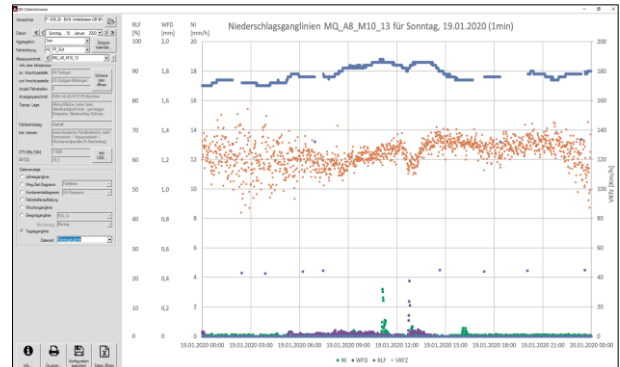


Abbildung 3-5: Darstellung der Geschwindigkeit, Niederschlagsintensität, Wasserfilmdicke, relativen Luftfeuchtigkeit

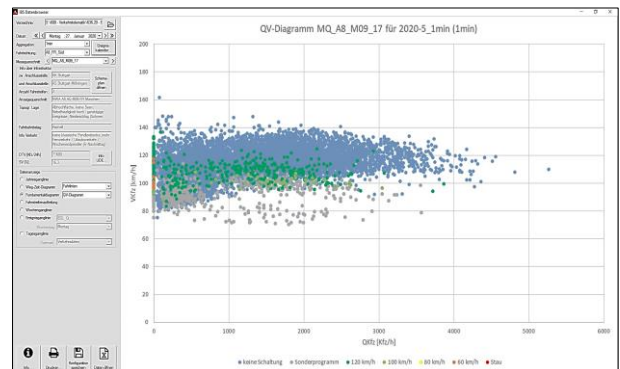


Abbildung 3-6: Darstellung des Fundamentaldiagramms

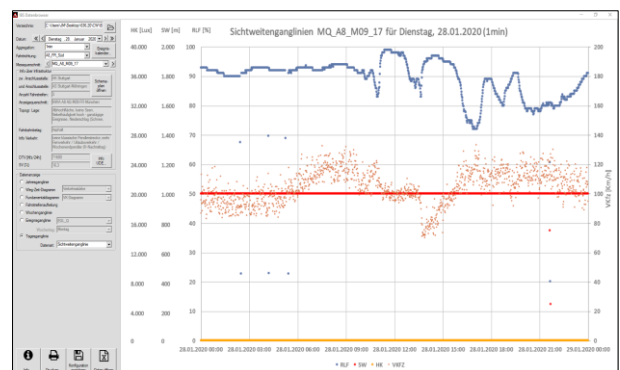


Abbildung 3-7: Darstellung der Geschwindigkeit, Sichtweite, relativen Luftfeuchtigkeit, Helligkeit

Neben einer visuellen Überprüfung der untersuchten Witterungsverhältnisse wird mit dem Einsatz des Tools auch direkt die Möglichkeit geboten, tagesspezifische Besonderheiten (Baustelle, Sperrung, etc.) zu erkennen und unter Umständen herauszufiltern. Damit kann die einfache Visualisierung der Daten mit dem nächsten Schritt (Datenfilterung) rückgekoppelt werden.

3.2.4 Datenfilterung

Nachdem im ersten Schritt die relevanten Streckenabschnitte identifiziert wurden, liegen nun Verkehrs-, Umfeld- und ggf. Schaltdaten aus einem Beobachtungszeitraum von bis zu zwei Jahren vor. Diese Daten müssen nun in einem weiteren Schritt auf die jeweiligen Anforderungen der zu untersuchenden Wirkungsthese zugeschnitten werden. Dafür kann die sogenannte Abfrageverwaltung der Datenbank verwendet werden (s. Abbildung 5-2).

In der Abfrageverwaltung lassen sich die Filtereinstellungen für verschiedene Fragestellungen konfigurieren. So lassen sich beispielsweise bestimmte Niederschlagsereignisse (z.B. von 0 bis 50 mm/h) oder geringe Sichtweiten herausfiltern. Gleichzeitig kann zum einen nach gewünschten Schwerverkehrsanteilen oder Verkehrsaufkommen gefiltert werden, als auch nach konkreten Ereignissen, wie Stau- oder Unfallereignissen. Neben der Filterung der Verkehrs-, Umfeld- und Schaltdaten, kann auch nach bestimmten Zeiträumen gefiltert sowie beispielsweise Feiertage oder Ferientage ausgeschlossen werden. Zur Plausibilitätskontrolle kann vor und nach der Filterung der Daten auch eine visuelle Kontrolle mit dem Datenbrowsertool vorgenommen werden, um die verwendeten Daten auf ihre Plausibilität hin zu überprüfen oder ggf. fehlerhafte Abschnitte im Nachhinein herauszufiltern.

Im Rahmen der statistischen Auswerteverfahren werden die maßgeblichen Messquerschnitte je nach These nach Verkehrsstärkeklassen differenziert, damit sich die jeweiligen Ergebnisse nicht auf jede einzelne Verkehrsstärke beziehen. Es ist zu erwarten, dass die verwendeten statistischen Tests empfindlich auf Schwankungen bei der Verkehrsstärke reagieren. Damit es durch den Einsatz verschiedener Filtereinstellungen zu keiner Verfälschung der Ergebnisse kommt, ist eine detaillierte und lückenlose Dokumentierung der jeweils verwendeten Filterkonfigurationen und statistischen Randbedingungen notwendig.

Voraussetzung für die Auswertung der Wirksamkeit witterungsbedingter Schaltungen ist ein verkehrlich unbeeinflusster Verkehrszustand, also eine reine Beeinflussung durch das witterungsbedingte Schaltprogramm. Um diesen Aspekt sicherzustellen, wird für eine Abgrenzung in die entsprechende Verkehrsstufe ausschließlich die Verkehrsdichte

herangezogen. Daher müssen an dieser Stelle Parameter definiert werden, welche eine Klassifizierung in die entsprechenden Verkehrszustände ermöglichen. COERS (1970) hat dies ohne feste Geschwindigkeiten dargelegt. Es lässt sich mit dem Verlauf von abknickenden Geraden in Abbildung 3-8 darstellen. Das MARZ 2018 gibt entsprechende Grenzwerte vor, welche sich in Abhängigkeit der Streifigkeit aus Geschwindigkeit und Dichte zusammensetzen. Durch das Auslassen der Geschwindigkeit bleiben nach MARZ 2018 folgende Parameter gemäß der folgenden Tabelle 3-4 übrig.

Verkehrsstufe		1 Fahrstreifen	2 Fahrstreifen	3 Fahrstreifen	4 Fahrstreifen
		Dichte k [Kfz/km]	Dichte k [Kfz/km]	Dichte k [Kfz/km]	Dichte k [Kfz/km]
Z ₁	Freier Verkehr	$0 \leq k \leq 20$	$0 \leq k \leq 30$	$0 \leq k \leq 40$	$0 \leq k \leq 50$
Z ₂	Dichter Verkehr	$20 < k \leq 50$	$30 < k \leq 60$	$40 < k \leq 70$	$50 < k \leq 80$
Z ₃	Zähfließender Verkehr	≤ 50	≤ 60	≤ 70	≤ 80
Z ₄	Stau	> 50	> 60	> 70	> 80

Tabelle 3-4: Verkehrsstufen nach MARZ 2018 ohne mittlere Geschwindigkeit

Beim Zusammensetzen der beiden Ansätze in den Ansatz von COERS (1970) in Abbildung 3-8 lassen sich die Schwellenwerte für eine Abgrenzung in die Verkehrsstufen definieren.

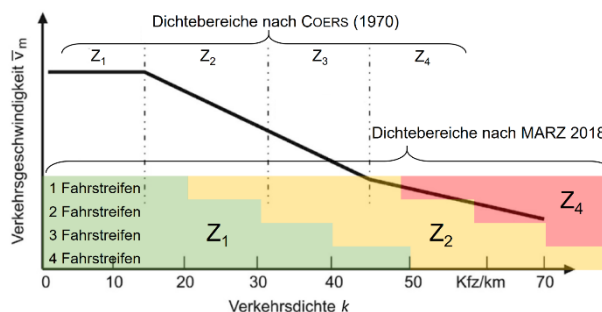


Abbildung 3-8: Gliederung von Verkehrszuständen in Anlehnung an COERS (1970)

Da der Ansatz von COERS (1970) unabhängig von der Anzahl der vorhandenen Fahrstreifen ist, wird in der vorhandenen Untersuchung die Abgrenzung nach MARZ 2018 verwendet, welche im Vergleich zu COERS (1970) größere Wertebereiche für die einzelnen Verkehrsstufen zulässt. Bei der Zuordnung der Verkehrsdaten in Verkehrsstufen wird demnach ausschließlich die von der Fahrstreifenanzahl abhängige, querschnittsbezogene Verkehrsdichte herangezogen.

3.2.5 Statistische Auswertung

Nach der Filterung der maßgeblichen Daten erfolgt die Auswertung der anfangs aufgestellten These mit Hilfe gängiger statistischer Tests. Für dessen Anwendungen müssen jedoch bestimmte statistische Randbedingungen im Hinblick auf Umfang und Verteilung der Stichproben erfüllt sein.

Ermittlung des Stichprobenumfangs

Um die statistische Signifikanz einer These zu belegen, muss ein ausreichender Stichprobenumfang gewährleistet werden. Grundsätzlich werden alle, den erforderlichen Kriterien entsprechende, Datensätze für die Untersuchung einer These herangezogen. In diesem Fall ist es nicht notwendig den Stichprobenumfang zu bestimmen, da ein maximal möglicher Dateninput gegeben ist. Für einige Fragestellungen kann es jedoch notwendig sein, dass selbst die vorgefilterten Datensätze abermals eingegrenzt werden müssen, wenn bspw. konkrete Witterungsereignisse in einem kurzen Zeitraum untersucht werden sollen. In diesem Fall ist der jeweils notwendige Stichprobenumfang zu bestimmen.

Dafür wird die Populationsgröße bzw. Grundgesamtheit für jeden Untersuchungsfall neu aufgestellt, da mit der damit verbundenen Betrachtung der Niederschlagsintensität, Wasserfilmdicke, Sichtweite, etc. in der Regel eine unterschiedliche Anzahl an Datensätzen zur Verfügung steht. Darüber hinaus kann die Häufigkeit der vorkommenden Witterungsereignisse je nach Standort und topografischer sowie meteorologischer Effekte stark variieren.

Im nächsten Schritt muss das Konfidenzintervall bestimmt werden. Umso kleiner das Konfidenzintervall gewählt wird, umso präziser werden die späteren Ergebnisse. Dies erfordert jedoch gleichzeitig eine größere Stichprobe. Da sich mit der Untersuchung verschiedener Thesen und der damit einhergehenden Änderung der Populationsgröße nicht exakt vorhergesagt werden kann, wie groß der Stichprobenumfang sein wird, wird das Konfidenzintervall mit einem standardmäßigen Wert von 5 % festgelegt. Damit liegt eine Irrtumswahrscheinlichkeit des Verfahrens bei 5 %. Das mit dem Konfidenzintervall zusammenhängende Konfidenzniveau wird hier mit 99 % gewählt.

Die Bestimmung der Standardabweichung ist im Vorfeld der Analyse nur schwer zu bestimmen und wird für die Ermittlung des Stichprobenumfangs anfangs auf 50 % festgelegt. Damit ergibt sich am Ende eine Standardabweichung von 50 % des Mittelwerts um den Mittelwert herum. Dadurch kann gewährleistet werden, was die ermittelte Stichprobengröße innerhalb des Konfidenzniveaus und des Konfidenzintervalls ausreichend groß ist, um die betrachtete Populationsgröße hinreichend genau zu repräsentieren.

Im nächsten Schritt wird auf Basis des Konfidenzniveaus der Z-Wert gewählt, der in einer Z-Wert-Tabelle gefunden werden kann (vgl. HERZ ET AL., 1992).

Die ermittelten Werte sind im Anschluss in die Formel zur Ermittlung des Stichprobenumfangs einzusetzen:

$$n = \frac{\frac{z^2 * p(1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 * (1-p)}{e^2 * N}\right)}$$

n = Stichprobenumfang

N = Populationsgröße

z = Z – Wert

e = Konfidenzintervall

p = Standardabweichung

Kann der benötigte Stichprobenumfang, beispielsweise auf Grund tagesspezifischer Besonderheiten (Unfall, Tagesbaustelle, o.ä.) nicht erreicht werden, ist das bei der Beschreibung des Untersuchungsfalls entsprechend zu vermerken.

Shapiro-Wilk-Test

Für die Untersuchung der definierten Wirkungsthesen werden verschiedene statistische Methoden herangezogen. Für die Anwendbarkeit mancher statistischen Mittel, wie bspw. beim F-Test, wird ein normalverteilter Stichprobenumfang vorausgesetzt, dieser wird in der vorliegenden Untersuchung mit dem Shapiro-Wilk-Test geprüft (Shapiro-Wilk-Test ist beschränkt auf einen Stichprobenumfang $N \leq 2000$).

Zu Beginn wird die Nullhypothese H_0 , dass die Stichprobe normalverteilt ist, mit

$$H_0: \text{Stichprobe ist normalverteilt}$$

aufgestellt. Ob die Stichprobe normalverteilt ist wird mit der Bestimmung der statistischen Prüfgröße W folgendermaßen bestimmt:

$$W = \frac{b^2}{(n-1)s^2}$$

n = Stichprobenumfang

b = Gewicht

s = korrigierte Stichprobenvarianz

Nach der Ermittlung der Prüfgröße W wird mit der folgenden Beziehung entschieden, ob die Nullhypothese angenommen oder verworfen werden kann:

$$W \geq W_{kr}$$

Für den Vergleich kann die kritische Größe W_{kr} mit dem gewählten Signifikanzniveau α (z.B. 0,05) und dem Stichprobenumfang n einer Tabelle (vgl. RYAN ET AL., 1976) entnommen werden. Sofern die Prüfgröße W größer ist als die kritische Größe W_{kr} , kann die Nullhypothese angenommen werden, in diesem Fall ist die untersuchte Stichprobe normalverteilt.

Alternativ ist es möglich, den Nachweis mit dem berechneten p-Wert des Shapiro-Wilk-Tests auf Normalverteilung zu prüfen. Sofern der p-Wert kleiner als das festgelegte Signifikanzniveau von 5 % ist, ist von einem nicht-normalverteilten Stichprobenumfang auszugehen. Die Nullhypothese kann in diesem Fall also abgelehnt werden (vgl. CLEFF, 2019 und HASLWANTER 2016).

Da den Tests auf Varianzhomogenität in der Regel zwei Stichproben zugrunde gelegt werden, müssen beide Datensätze getrennt auf Normalverteilung getestet werden.

F-Test

Der F-Test ist ein statistisches Mittel, um die Homogenität zweier Varianzen aus verschiedenen, normalverteilten Stichproben zu überprüfen. In diesem Fall muss überprüft werden, ob sich zwei Stichproben bezüglich eines Merkmals, wie beispielsweise der Geschwindigkeit, in ihrer Varianz maßgeblich unterscheiden (vgl. STATISTA, 2020). Voraussetzung für die Anwendbarkeit des F-Tests sind normalverteilte Stichprobenumfänge, diese wird zuvor mit dem Shapiro-Wilk -Test geprüft. Je nach Ergebnis des Tests lässt sich dann eine Aussage dazu treffen, ob zwei Streckenabschnitte eine Basis bzw.

ein Paar bilden, um weitere Rückschlüsse auf den Einfluss von Witterungsbedingungen zu ziehen.

Dabei müssen für die zwei zu vergleichenden Messreihen vorab der Mittelwert \bar{x} und die Varianz S_x^2 ermittelt werden.

Die Ergebnisse des Mittelwerts und der Varianz werden auf eine Dezimalstelle mehr als die der Rohdaten gerundet (vgl. BLUMAN, 2009). Dabei ist anzumerken, dass die genutzten Rohdaten nur in aggregierten 1-Minuten oder 15-Sekunden Intervallen vorliegen, deren Werte pro Intervall bereits im Zuge der Datenverarbeitung auf ganze Zahlen gerundet wurden. Für die Berechnung des Mittelwerts oder der Varianz bedeutet dies eine Rundung auf eine Stelle hinter dem Komma.

Im Anschluss an die Ermittlung des Mittelwerts und der Varianz müssen, um die Signifikanz nachzuweisen, eine Nullhypothese H_0 aufgestellt und gegen die Hypothese H_1 getestet werden. Die Hypothesen werden umgekehrt zur Annahme getroffen, da nur ein Fehler 1. Art bestimmt werden kann:

$$H_0: \sigma_A^2 \leq \sigma_B^2 \text{ gegen } H_1: \sigma_A^2 > \sigma_B^2$$

σ_A = Varianz der Stichprobe A

σ_B = Varianz der Stichprobe B

Für die Prüfgröße wird dann der Quotient der beiden Varianzen gebildet, wobei die größere Stichprobenvarianz bei einer ungerichteten Stichprobenvarianz in den Zähler gesetzt wird.

$$F_{pr} = \frac{S_A^2}{S_B^2}$$

F_{pr} = Prüfgröße

Nach Ermittlung der Prüfgröße F_{pr} und Ermittlung der beiden Freiheitsgrade $v_A = (n_A - 1)$ und $v_B = (n_B - 1)$ mit der Stichprobengröße n kann mit einer F-Tabelle (vgl. HERZ ET AL., 1992) und einem gewählten Signifikanzniveau α (z.B. 0,05) die kritische Prüfgröße F_{kr} berechnet werden.

Kann mit $F_{pr} > F_{kr}$ die Nullhypothese H_0 verworfen werden, ist der Unterschied der zu untersuchenden Stichproben signifikant. Durch die umgekehrte Annahme der Hypothese kann beim Verwerfen der Nullhypothese die Wirkungsthese angenommen werden.

Als zusätzlicher Nachweis über die signifikanten Unterschiede der Varianzen lässt sich der p-Wert des F-Tests heranziehen. Für den Fall, dass der p-Wert kleiner als das Signifikanzniveau α (z.B. 0,05) ist, so ist das Verhältnis zwischen den Standardabweichungen oder Varianzen statistisch signifikant und die Nullhypothese H_0 kann verworfen werden.

Levene-Test

Für den Fall, dass es sich bei einem Stichprobenumfang um eine nicht-normalverteilte Verteilung handelt, so wird statt des F-Tests der Levene-Test als nicht-parametrischer Test angewendet. Der Levene-Test prüft die Varianzen auf Gleichheit, geht aber vom jeweiligen Median der Stichprobe aus, was ihn bei einem geringen und nicht-normalverteilten Stichprobenumfang robuster macht.

Die zu widerlegende Nullhypothese des Levene-Tests lässt sich daher im Allgemeinen wie folgt formulieren:

$$H_0: \sigma_A^2 = \sigma_B^2$$

Durch die Verwerfung der Hypothese wird gezeigt, dass die untersuchten Varianzen ungleich sind, jedoch kann keine Aussage getroffen werden, welche Stichprobe die höhere Varianz aufweist, da der Test ungerichtet ist.

Bei der Berechnung des p-Wertes der Levene-Teststatistik wird geprüft, ob sich dieser ober- oder unterhalb des vordefinierten Signifikanzniveaus (hier $\alpha = 0,05$) befindet. Sofern der p-Wert des Levene-Tests größer als das Signifikanzniveaus ist, kann von einer Varianzhomogenität der beiden Stichproben ausgegangen werden.

Wilcoxon-Test

Der Wilcoxon-Test überprüft, ob die Differenzen paarig angeordneter Beobachtungen symmetrisch um den Median gleich Null verteilt sind. Dieser statistische Test wird demnach herangezogen, wenn die Abweichungen der Mediane zweier abhängiger Gruppen untersucht werden sollen. Wie auch der Levene-Test ist auch der Wilcoxon-Test bei nicht normalverteilten Beobachtungen anwendbar und kann auch bei normalverteilten Differenzen den t-Test ausreichend genau ersetzen (HEDDERICH & SACHS 2020).

Mit der Aufstellung der Nullhypothese H_0 zu

$$H_0: f(+d) = f(-d)$$

gilt es zu widerlegen, dass die Paardifferenzen d einer Grundgesamtheit einer Dichtefunktion $f(d)$ entstammen. Wenn H_0 also abgelehnt wird, ist die Grundgesamtheit nicht symmetrisch im Hinblick auf den Median, d.h. der Median der Differenzen ist ungleich Null.

Als Testgröße wird die kleinere der beiden Rangsummen $R_{positiv, negativ}$ der beiden Datensätze verwendet, und die Nullhypothese H_0 wird verworfen, wenn der berechnete R -Wert kleiner oder gleich dem kritischen Wert R_{krit} ist. Die kritischen Werte lassen sich über Tabellen (vgl. MCCORNACK 1965) ermitteln, während der R -Wert aus den Rangzahlen n bestimmt wird.

$$R = \min(R_{positiv}, R_{negativ})$$

$$\text{mit } R_{positiv} + R_{negativ} = \frac{n(n+1)}{2}, \text{ für } n \leq 2$$

$R_{positiv}$ = Summe der Differenzen mit positivem Vorzeichen

$R_{negativ}$ = Summe der Differenzen mit negativem Vorzeichen

n = Rangzahl

Für $n > 25$ gilt folgende Approximation zur Berechnung des R -wertes

$$R = \frac{n(n+1)}{4} - z_{1-\alpha} * \sqrt{\frac{1}{24}n(n+1)(2n+1)}$$

α = gewählte Irrtumswahrscheinlichkeit = 95 %

z = Quantil der Standardnormalverteilung für die gewählte Irrtumswahrscheinlichkeit α

In diesem Fall muss der Wert z aus den Quantilen für die Standardnormalverteilung abgeleitet werden (vgl. Tabelle 5.6 in HEDDERICH & SACHS 2020).

Entscheidend für die Anwendung ist es nach HEDDERICH & SACHS 2020, dass es sich beim Stichprobenumfang um natürliche Paare handelt, also die Daten kombinierbar sind (z.B. Querschnitt im SBA-Bereich und Querschnitt ohne SBA).

Regressionsanalyse

Die (lineare) Regressionsanalyse untersucht, inwieweit eine unabhängige Variable wie bspw. ein Witterungsereignis auf eine abhängige Variable (z.B. die gefahrene Geschwindigkeit) wirkt. Dieser Zu-

sammenhang kann man der sog. Regressionsgeraden visualisiert und mit dem Pearson-Korrelationskoeffizienten R sowie dem p-Wert statistisch interpretiert werden. Die Regressionsgerade setzt sich dabei folgendermaßen zusammen:

$$X = \alpha + \beta * Y$$

mit

X = Abhängige Variable

Y = Unabhängige Variable

α = Achsenabschnitt

β = Steigung der Geraden

Der Pearson-Korrelationskoeffizient R ergibt sich aus dem Quotienten der Kovarianz der abhängigen und unabhängigen Variable und dem Produkt der Standardabweichung der abhängigen Variable und der unabhängigen Variable:

$$R = \frac{S_{X,Y}}{S_X S_Y}$$

Es ist zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Fragestellungen auch verschiedene statistische Tests erfordern.

3.3 Konzept zur Auswertung der Wirksamkeit witterungsbedingter Verkehrsprogramme

Das Konzept für die Auswertung der im Rahmen des Projektes entwickelten Thesen zur Untersuchung der Wirksamkeit wird im nachfolgenden Abschnitt vorgestellt. Diese Thesen werden wie bei der Analyse der Wirkungsthese mittels statistischer Auswerte- und Darstellungsmethoden auf ihre Gültigkeit hin untersucht.

Während sich die Auswertung der Wirkungsthese hauptsächlich auf den Einfluss von Witterungsereignissen auf den Verkehr bezieht, werden mit den Wirksamkeitsthese die Auswirkungen von witterungsbedingten Schaltungen auf den Verkehr untersucht. Demnach muss ebenfalls für jede These spezifisch eine Auswahl an relevanten Daten getroffen und plausibilisiert werden (s. Kapitel 3.2.1).

Für den mit den Wirksamkeitsthese verbundenen Vergleich (hier Mit-Ohne-Vergleich für verschiedene MQ, bspw. mit/ohne SBA) wird dabei dieselbe MQ-Vergleichbarkeitstabelle (s. Tabelle 3-3) herangezogen, womit miteinander vergleichbare MQ

identifiziert werden können. Somit lassen sich im nächsten Schritt thesenspezifische Daten mit einer Abfrage in der Datenbank filtern.

Die statistische Analyse erfolgt wie bei der Untersuchung der Wirkungsthese in Kapitel 3.2.5 ebenfalls mit einem vorangestellten Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung, worauf der F- bzw. Levene-Test für die Prüfung der Hypothese folgt.

Das Konzept für die Auswertung sowie die Zusammenhänge der Datenstrukturen lassen sich mit Abbildung 3-9 zusammenfassen.

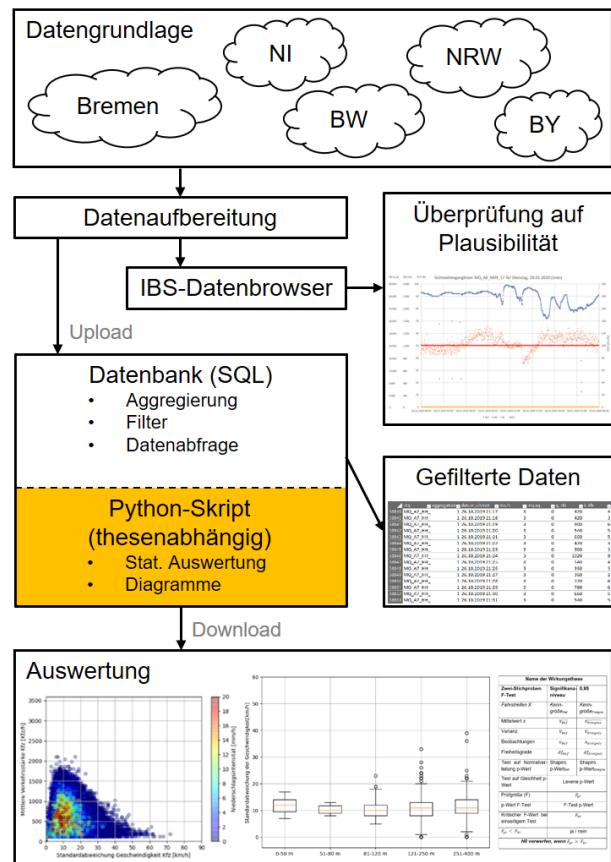


Abbildung 3-9: Zusammenfassung der konzeptionellen Auswertung sowie der Datenstrukturen

4 Erstellung der Wirkungsthesen

Inhalte des Kapitels 4 sind

- die Beschreibung der allgemeinen Rahmenbedingungen zur Aufstellung der Wirkungsthesen – siehe Kapitel 4.1.1;
- die Zusammenstellung und Einordnung der Thesen unter Berücksichtigung der Ergebnisse der bisherigen Abstimmung mit dem Betreuerkreis – siehe Kapitel 4.1.2 sowie
- ein Ausblick auf das weitere Vorgehen – siehe Kapitel 4.1.3.

Die Details zur Erarbeitung und Lösung der Darstellungsformen für die Ergebnisse der Auswertung sind in Kapitel 4.2 zusammengestellt.

4.1 Aufstellung von Wirkungsthesen

4.1.1 Allgemeine Rahmenbedingungen für die Aufstellung der Wirkungsthesen

Maßnahmen der Verkehrsbeeinflussung sowie in diesem Kontext auch weitere Einflussfaktoren wie z.B. die Witterung können unterschiedliche Wirkungen auf den Verkehrsablauf und das individuelle Fahrverhalten ausüben. Unter dem Begriff „Wirkung“ werden hierbei sowohl erwünschte Effekte hinsichtlich der im weiteren Verlauf definierten Wirkziele als auch zusätzliche, ggf. auch negative Effekte subsummiert.

Die „Wirksamkeit“ einer Maßnahme der Verkehrsbeeinflussung bezieht sich demgegenüber nur auf erwünschte Effekte bzgl. der mit der Maßnahme erzielbaren Wirkungen und beschreibt, in welchem Maße die Wirkziele erreicht werden.

Generell wird für die Generierung der Thesen deshalb ebenfalls unterschieden zwischen den Teilbereichen „Wirkung“ und „Wirksamkeit“. Zur Ableitung sowie Festlegung der Struktur der Thesen in den beiden Blöcken werden dabei schwerpunktmäßig die beiden Hauptfragestellungen

- „Wie ändert sich das Fahrverhalten?“ (Wirkung) sowie
- „Wie lässt sich dies in die Schaltung / den Betrieb einer SBA übertragen?“ (Wirksamkeit)

zugrunde gelegt. Es wurde festgestellt, dass bei diesem Vorgehen eine Vielzahl von Thesen abgeleitet werden kann und deshalb eine weitere Strukturierung zielführend ist. Um besser differenzieren zu können, wird daher des Weiteren eine Einstufung der Thesen in die Kategorien

- Niederschlagsart und -intensität,
- Wasserfilmdicke,
- Sichtweite,
- Harmonisierung sowie
- „Sonstige“

vorgenommen (s. Anhang 5). Bei den als „Sonstige“ eingestuften Thesen werden dabei auch übergeordnete Aspekte wie etwa Lage und Abstand von Umfelddatenerfassungseinrichtungen in einer Streckenbeeinflussungsanlage oder auf freier Strecke oder übergeordnete Eingriffe in eine Schaltung auf Zentralenebene (etwa per Glättung) berücksichtigt.

Bei der Erarbeitung der Wirkungsthesen wird auf folgende Grundlagen zurückgegriffen:

- Ergebnisse aus der umfangreichen Literatur- und Quellenanalyse (siehe Kapitel 2) sowie
- detaillierte Erkenntnisse aus der Praxis (so wurden u.a. für ein Projekt auf der A2 in Niedersachsen seitens des Forschungsnehmers Verkehrs- und Umfelddaten aus den Bereichen der SBA A2 sowie des dort ebenfalls existierenden SWIS-Systems in einem großen Datenumfang analysiert und daraus Erkenntnisse zu den Wirkungen bzw. der Wirksamkeit abgeleitet).

4.1.2 Zusammenstellung und Einordnung der Thesen

Auf die im Kapitel 4.1.1 beschriebene Weise sind in einem ersten mehrstufigen Brainstorming vom Forschungsnehmer initial 39 Thesen abgeleitet worden, um diese später mit dem Betreuer- sowie dem FGSV Arbeitskreis 3.2.14 abstimmen und einvernehmlich priorisieren zu können. Dabei wird der Vorgang zur Definition einer These nachfolgend an zwei Beispielen erläutert:

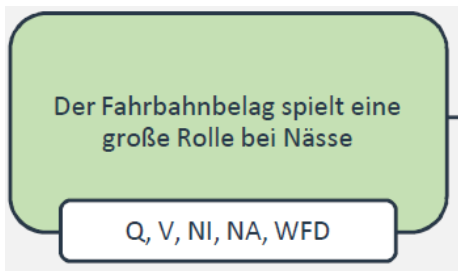


Abbildung 4-1: These aus dem Bereich „Wirkung von Niederschlag“

Die These aus Abbildung 4.1 wird zunächst so wie oben beschrieben ausformuliert sowie dann, da aus dem Bereich „Auswirkungen von Nässe“ der Kategorie „Niederschlagsart und -intensität“ zugeordnet. Da sich die These dem Bereich der Änderung des Fahrverhaltens infolge von Witterungseinflüssen zuweisen lässt, ist sie des Weiteren dem Block „Wirkung“ zuzuweisen.

Zur Überprüfung der These werden folgende zur Prüfung / Verifizierung auszuwertende Daten identifiziert:

- Verkehrsstärke Q
- Mittlere lokale Geschwindigkeit V
- Niederschlagsintensität NI
- Niederschlagsart NS und
- Wasserfilmdicke WFD.

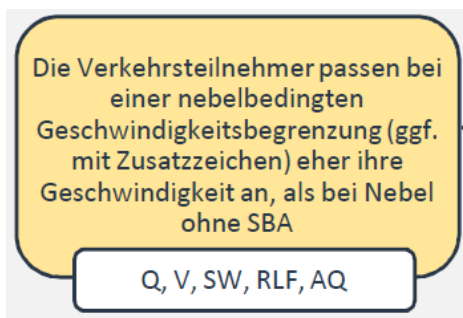


Abbildung 4-2: These aus dem Bereich „Wirksamkeit von Sichtweiteschaltungen“

Die These aus Abbildung 4.2 wird ebenfalls zunächst so wie oben beschrieben ausformuliert sowie dann, da aus dem Bereich „Auswirkungen von Nebel bzw. eingeschränkter Sichtweite“ der Kategorie „Sichtweite“ zugeordnet. Da sich die These dem Bereich der Übertragung der Umsetzung einer Witterungswarnung im Rahmen des Betriebes einer SBA zuweisen lässt, ist sie des Weiteren dem Block „Wirksamkeit“ zuzuweisen.

Zur Überprüfung der These werden folgende zur Prüfung / Verifizierung auszuwertende Daten identifiziert:

- Verkehrsstärke Q
- Geschwindigkeit V
- Sichtweite SW,
- Relative Luftfeuchtigkeit RLF und
- Daten der Schaltung an den betroffenen Anzeigequerschnitten AQ.

Die beiden obigen Beispiele zeigen die Methodik der Thesendefinition und -zuweisung sowie der Identifizierung der hierfür zu betrachtenden Datengrundlagen. Mit dieser kompakten Darstellung ist es also möglich, sowohl die These selbst als auch deren Einordnung und die relevanten Daten sehr übersichtlich darzustellen.

Infolge der hohen Anzahl der generierten Wirkungsthesen ist es im Rahmen des Projektes nicht möglich, alle Thesen gleichrangig weiter zu verfolgen. Deshalb erfolgt seitens des Forschungsnehmers eine erste Einstufung in

- Hoher Fokus (grün);
- Mittlerer Fokus (gelb) sowie
- Geringer Fokus (rot).

Dabei erfolgt die Einstufung aber nicht „willkürlich“, sondern insbesondere anhand der Bewertung folgender Rahmenbedingungen:

- Ein „Hoher Fokus“ ist immer dann gegeben, wenn die These von hoher Priorität im Hinblick auf das Ziel des FE-Vorhabens ist sowie eine gute und transparente Datenverfügbarkeit im Hinblick auf den Nachweis / die Auswertung der erforderlichen Daten gegeben ist. Die entsprechenden Thesen sind in der Gesamtzusammenstellung grün hinterlegt.
- Ein „Mittlerer Fokus“ zeichnet sich dadurch aus, dass die Datenverfügbarkeit schwieriger als bei den Thesen mit „Hohem Fokus“ ist und die These aus Sicht des Forschungsnehmers eine nicht ganz so hohe Priorität im Gesamtkontext des FE-Vorhabens hat. Die entsprechenden Thesen sind in der Gesamtzusammenstellung gelb hinterlegt.

- Ein „Geringer Fokus“ wird immer dann vergeben, wenn die Aussage anhand der verfügbaren Daten bzw. der erreichbaren Ergebnisse nur bedingt prüfbar ist bzw. entsprechend geeignete oder ausreichende Daten für den Nachweis fehlen. Die entsprechenden Thesen sind in der Gesamtzusammenstellung rot hinterlegt.

Am Beispiel der in Abbildung 4.1 weiter oben aufgeführten These sei hier beispielhaft erläutert, warum diese einen „Hohen Fokus“ erhalten hat:

Alle vorliegenden Erkenntnisse aus der Literatur- und Quellenrecherche sowie aus vom Forschungsnehmer in der Vergangenheit durchgeführten vergleichbaren Untersuchungen zeigen, dass der Fahrbahnbelag erhebliche Auswirkungen auf das Fahrverhalten bei Nässe haben kann. So ist z. B. bei leichtem Niederschlag und neuen OPA-Flächen mit nahezu keinen Auswirkungen zu rechnen, da die Fahrbahn fast trocken bleibt. Demgegenüber kann es bei glatten Betonoberflächen auch schon bei leichtem Niederschlag zu geänderter Griffigkeit und damit Auswirkungen auf das Fahrverhalten kommen. Es liegen für die vorliegende Untersuchung Daten zu Messstellen aus verschiedenen Bereichen mit unterschiedlichen Fahrbahnbelägen vor, so dass ausreichend statistisch signifikante Daten zur Prüfung und Verifizierung der These vorliegen.

Abbildung 4.3 hingegen zeigt eine These, welche vom Forschungsnehmer initiativ mit geringem Fokus eingeordnet worden ist.

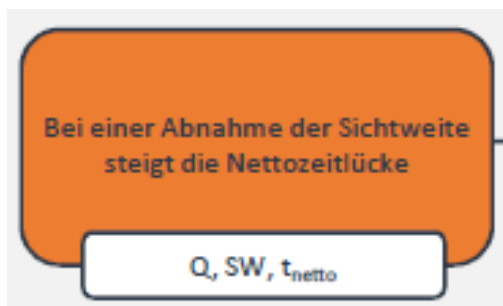


Abbildung 4-3: These aus dem Bereich „Wirkung von Sichtweitereinschränkungen“

Die gewählte Einstufung erfolgt im Wesentlichen begründet damit, dass ein zu geringer Stichprobenumfang hinsichtlich Daten für die Nettozeitlücke gegeben ist. Es lassen sich auf Basis der verfügbaren Daten deshalb hier keine statistisch signifikanten

Aussagen ableiten. Dementsprechend wird die These nicht weiterverfolgt.

Die Tabelle 4-1 zeigt die Zusammenstellung der vom Forschungsnehmer untersuchten Thesen.

4.1.3 Finale Auswahl der weiter zu betrachtenden Wirkungsthesen

Die Thesen wurden von einem Expertengremium auf Basis einer vom Forschungsnehmer initiierten Umfrage analysiert und bewertet. Dabei ermittelte jeder Experte ca. 10 Thesen, die aus seiner Sicht im Hinblick auf das Forschungsziel bzw. die betrieblichen Belange von besonderer Relevanz sind.

Aus dieser Grundausswahl wurden dann 10 bis 15 Thesen extrahiert, die verworfenen Thesen noch einmal im Hinblick auf die Relevanz für das Gesamtziel des FE-Vorhabens geprüft und anschließend die finale Auswahl für die erste Iteration der Auswertungen getroffen. Auf Basis dieser Erkenntnisse erfolgte eine Einstufung der Thesen in die Stufen 1 (hohe Priorität), 2 (mittlere Priorität), und 3 (niedrige Priorität). Eine Übersicht der Einstufung ist in Anhang 5 gegeben.

Dabei wurde auch noch einmal geprüft, ob und wenn ja welche Thesen ggf. kombiniert betrachtet werden können, weil die Auswerte- und Analyseprozesse ähnlich sind.

Als Ergebnis des iterativen Abstimmungsprozesses entstand dann die in Anhang 5 dargestellte Tabelle, aus der die prioritär zu analysierenden Thesen hervorgehen. Diese sind zusätzlich in der nachfolgenden Tabelle 4-1 dargestellt.

Tabelle 4-1 Zusammenstellung der untersuchten Thesen

Thesen „Wirkung“	
T1-2a	Bei gleicher Verkehrsstärke sinkt bei Niederschlag die Standardabweichung der Geschwindigkeit
T1-8	Bei Niederschlagsereignissen streut die gefahrene Geschwindigkeit stärker, als bei trockenen Witterungsbedingungen
T1-3	Niederschlag beeinflusst das Fundamentaldiagramm so deutlich, dass es sinnvoll ist, die Harmonisierungsparameter bei Niederschlag anzupassen
T1-4	Bei Dunkelheit wirkt sich ein Niederschlagsereignis verstärkt auf das Fundamentaldiagramm aus
T1-3b	Nebel beeinflusst das Fundamentaldiagramm so deutlich, dass es sinnvoll ist, die Harmonisierungsparameter bei Nebel anzupassen
T3-6	Die Varianz der Geschwindigkeit nimmt mit abnehmender Sichtweite zu, da Verkehrsteilnehmer ihr Können stärker unter bzw. überschätzen
T3-1a	Bei gleicher Verkehrsstärke sinkt bei Nebel die Standardabweichung der Geschwindigkeit

Thesen „Wirksamkeit“	
T3-9a	Bei Nebel reduziert eine entsprechende Warnschaltung die Standardabweichung der Geschwindigkeit
T3-8	Die Verkehrsteilnehmer passen bei einer nebelbedingten Geschwindigkeitsbegrenzung (ggf. mit Zusatzzeichen) eher ihre Geschwindigkeit an, als bei Nebel ohne SBA
T1-9a	Bei Nässe reduziert eine entsprechende Warnschaltung die Standardabweichung der Geschwindigkeit
T1-13	Bei Niederschlagsereignissen und einer gleichzeitigen Geschwindigkeitsschaltung reduziert sich die gefahrene, mittlere Geschwindigkeit stärker, als ohne SBA
T1-10	Eine Geschwindigkeitsschaltung bei Niederschlag verstärkt die Harmonisierung im Vergleich ohne Schaltung. Aber: eine zu restriktive Witterungsschaltung kehrt den positiven Effekt um
T1-11	Die Abweichung der mittleren Geschwindigkeit von der angezeigten Geschwindigkeit von SBA ist bei Niederschlagsereignissen größer als bei angezeigten Geschwindigkeiten während trockener Witterungsbedingungen. Dies trifft eher bei schwachem, als bei starkem Verkehr zu

4.2 Erarbeitung von Darstellungsformen für die Auswertung

In der Auswertung werden unterschiedliche Darstellungsformen herangezogen, um die statistische Analyse sowie die Interpretation der Ergebnisse zu ermöglichen. So werden nach der Auswahl relevanter Daten, dessen Plausibilisierung sowie der Filterung dieser Daten nach thesenspezifischen Anforderungen die Ergebnisse tabellarisch wie folgt dargestellt:

Name der Wirkungsthese		
Zwei-Stichproben F-Test	Signifikanzniveau	0,95
<i>Fahrstreifen X</i>	<i>Kenngröße_{Ref}</i>	<i>Kenngröße_{Ereignis}</i>
Mittelwert \bar{x}	\bar{x}_{Ref}	$\bar{x}_{Ereignis}$
Varianz	V_{Ref}	$V_{Ereignis}$
Beobachtungen	n_{Ref}	$n_{Ereignis}$
Freiheitsgrade	df_{Ref}	$df_{Ereignis}$
Test auf Normalverteilung p-Wert	Shapiro p-Wert _{Ref}	Shapiro p-Wert _{Ereignis}
Test auf Gleichheit p-Wert	Levene p-Wert	
Prüfgröße (F)	F_{pr}	
p-Wert F-Test	F-Test p-Wert	
Kritischer F-Wert	F_{kr}	
$F_{pr} < F_{kr}$	ja / nein	
H0 verwerfen, wenn $F_{pr} \geq F_{kr}$		

Tabelle 4-2: Exemplarische Darstellung der statistischen Ergebnisse

Die statistischen Ergebnisse werden für jeden Fahrstreifen getrennt ausgewertet. Für eine bessere Übersicht werden in der Tabelle zunächst die statistischen Eckdaten wie das verwendete Signifikanzniveau (hier $\alpha = 0,05$) und die untersuchte Kenngröße, bzw. das Streuungsmaß aufgelistet. Im Anschluss erfolgt die Darstellung gängiger statistischer Größen, wie dem Mittelwert und der Varianz. Schließlich lassen sich mit der Anzahl der Beobachtungen sowie mit der Anzahl der Freiheitsgrade die statistischen Tests aus Kapitel 3.2.5 durchführen.

Sofern die p-Werte der jeweiligen Tests kleiner als das vordefinierte Signifikanzniveau (hier: kleiner als 0,05) sind, können die zugehörigen Nullhypothesen verworfen werden. In diesem Fall ist die Verteilung normalverteilt, die Varianzen beider Stichproben ungleich und der F-Test gibt an, dass sich die Varianzen signifikant unterscheiden. Als Resultat kann die definierte Nullhypothese der untersuchten These verworfen werden und die angenommene Wirkungsthese würde dementsprechend zutreffen.

Für ein besseres Verständnis der Ergebnisse werden die Daten in unterschiedlichen Diagrammen dargestellt. Wie schon bei der tabellarischen Form werden die Diagramme fahrstreifenbezogen ausgewertet und thesenspezifisch angepasst. Bei grundlegenden Vergleichen wie z.B. bei Niederschlagsereignissen können die Daten der verglichenen Stichproben in sog. Streudiagrammen (vgl. Abbildung 4-2) dargestellt werden.

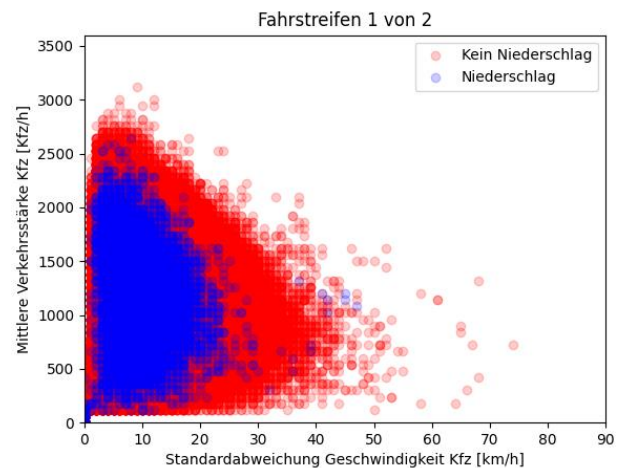


Abbildung 4-2: Exemplarische Darstellung eines Vergleichsfalls in Form eines Streudiagrammes für den rechten Fahrstreifen

So lässt sich in diesem Beispiel erkennen, dass die Standardabweichung der Geschwindigkeit, in diesem Fall für den rechten Fahrstreifen, verteilt über die Verkehrsstärke bei Niederschlagsereignissen geringer ausfällt, als bei trockenen Witterungsbedingungen. Aufschluss über die Varianzhomogenität bleibt allerdings der tabellarischen Darstellungsform mit den Ergebnissen der statistischen Tests vorbehalten, da sich in Streudiagrammen überlagerte Punkte verdecken können.

Um der Verdeckung entgegen zu wirken und die Dichte der Punktwolken darzustellen, lässt sich für

manche Thesen diese Form der Darstellung modifizieren, indem gewichtete Trendlinien eine grobe Ausrichtung der Punktwolke geben, wie Abbildung 4-3 zeigt. Dies ermöglicht eine bessere Interpretation der Ergebnisse und spiegelt die Gewichtung verdeckter Punkte wider.

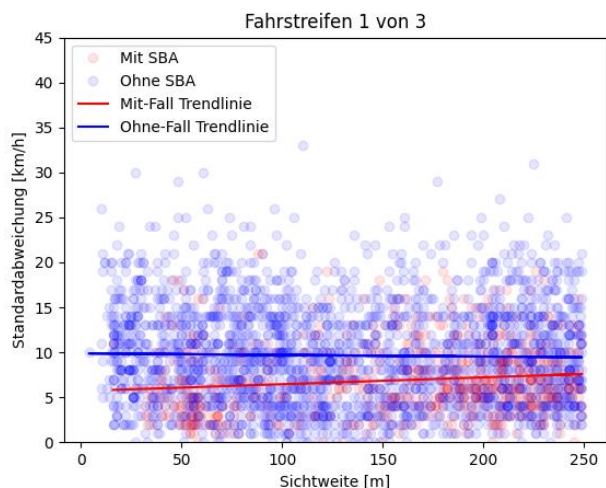


Abbildung 4-3: Exemplarische Darstellung eines Vergleichsfalls in Form eines Streudiagrammes mit gewichteten Trendlinien

In diesem modifizierten Streudiagramm ist es möglich, die Gewichtung der Punktwolke widerzugeben. In diesem beispielhaften Fall zeigen die gewichteten Trendlinien, dass die Standardabweichungen der Geschwindigkeiten für den rechten Fahrstreifen bei abnehmender Sichtweite im SBA-Bereich stärker sinken, als im Nicht-SBA-Bereich.

Als weitere Form der Darstellung können auch sog. Heatmaps verwendet werden. Diese ermöglichen eine differenzierte Betrachtungsweise von Einflüssen auf die zu untersuchende Kenngröße. Im folgenden Beispiel wird die binäre Darstellung (Niederschlag und kein Niederschlag) aus Abbildung 4-2 in eine, je nach Niederschlagsintensität kontinuierliche und farbcodierte Darstellung abgebildet (Abbildung 4-4).

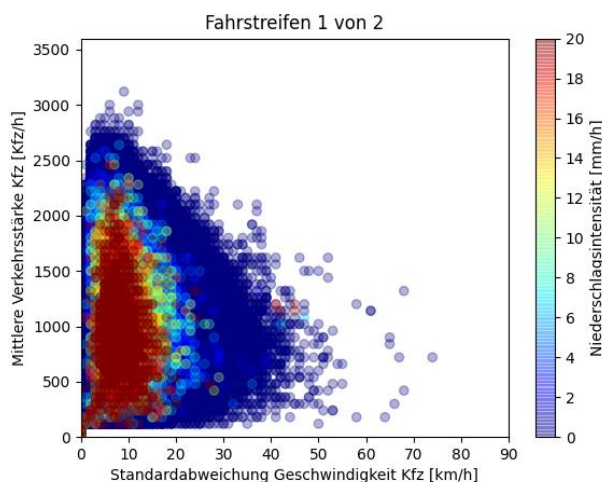


Abbildung 4-4: Exemplarische Darstellung der Verteilung der Standardabweichungen der Geschwindigkeit für unterschiedliche Niederschlagsintensitäten für den rechten Fahrstreifen

Die Farbgebung dieser Punktwolke wird dabei in diesem Beispiel in aufsteigender Reihenfolge erzeugt. Es werden zuerst die blauen Punkte mit geringerer Niederschlagsintensität erzeugt und im Anschluss mit aufsteigender Niederschlagsintensität die weiteren Datenpunkte in den Vordergrund. Damit lässt sich an dieser Stelle verdeutlichen, dass sich die Standardabweichung der Geschwindigkeit mit zunehmender Niederschlagsintensität reduziert. Je stärker also Niederschlag fällt, desto höher ist in diesem Beispiel die Harmonisierung des Verkehrs.

Eine weitere Darstellungsform ist die Zusammenfassung der statistischen Größen in sog. Boxplots (vgl. Abbildung 4-5). Diese geben eine Übersicht über die Lage der Mittelwerte sowie die Lage der 25 %- und 5 %-Quantile der einzelnen Stichproben. Darüber hinaus lassen sich Ausreißer besser lokalisieren, welche über das 95 %-Quantil hinausgehen.

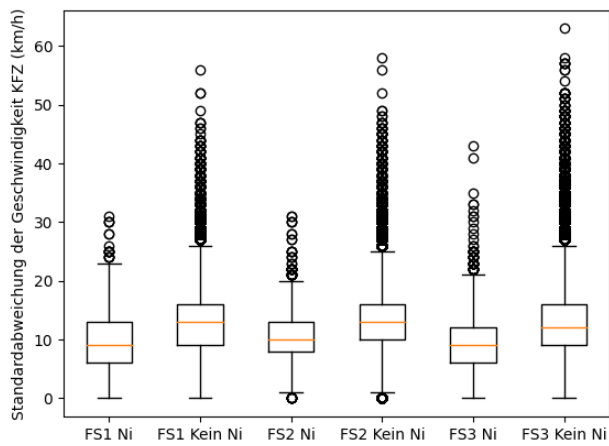


Abbildung 4-5: Exemplarische Darstellung eines Boxplots zur Darstellung statistischer Kenngrößen

An diesem Beispiel lassen sich die statistischen Kenngrößen für alle Fahrstreifen eines Querschnitts vergleichen. Der Median (orangene Linie), die 25 %-Quantile (Box um die orangene Linie), die 5 %-Quantile (äußere Linie) sowie die Ausreißer (Kreise außerhalb der äußeren Linie) weisen für Niederschlagsereignisse (NI) geringere Standardabweichungen der Geschwindigkeit als bei trockenen Witterungsbedingungen auf. Ob die Abweichungen jedoch signifikant sind können nur die statistischen Tests auf Varianzhomogenität in der tabellarischen Darstellungsform zeigen.

5 Implementierung der Auswertedatenbank

5.1 Aufbau der Datenbank

Heutige Data-Mining-Ansätze verwenden in der Regel NoSQL-Datenbanken (wie MongoDB und Elasticsearch), die auf schemafreie Dokumente zugreifen und diese filtern, die horizontal skaliert werden können. Der Hauptzweck dieses Projekts besteht darin, mit etwa 40 Millionen Dateneinträgen zu arbeiten, die dieselbe feste Struktur von ~90 Feldern haben. Daher erweist sich die Verwendung von SQL-ähnlichen Datenbanken als günstige Wahl, da sie schon deutlich länger eingesetzt werden und entsprechend große Erfahrungen zur Verfügung stehen, die Einarbeitung in solche Systeme leichter ist, sie einfacher zu installieren, zu implementieren und mit der gewählten Programmierumgebung besser zugänglich sind.

Da die Datenbank auch die Möglichkeit zur statistischen Auswertung bereitstellen soll, werden Auswertetools über Python-Skripte in die Datenbank implementiert. Damit besteht die Möglichkeit, auch im Nachgang Änderungen der Auswertetools vorzunehmen. Bei der Ausführung eines Python-Skripts in der Datenbank werden die in der Datenbank gefilterten Daten geladen und anschließend thesenabhängig in zwei Datengruppen (Ereignis/Referenzfall) geteilt. Darauf folgen bei Bedarf Anpassungen der Daten, wie bspw. die Berechnung der Pkw-Einheiten oder die Gliederung in Verkehrsstufen bzw. witterungsabhängige Stufen nach MARZ 2018. Nach der Gliederung und Strukturierung der Daten erfolgen die statistische Auswertung und die Erzeugung der Diagramme.

Es kommen Datenbankserver zum Einsatz. Die Verwendung von Open Source und freier Software erleichtert die Übergabe der Datenbank und ermöglicht aktuellen Technologieeinsatz.

Um die Portabilität und Zugänglichkeit zu erleichtern, wird die gleiche Technologie verwendet, die auch für Web-Services und Web-Anwendungen eingesetzt wird. Daher ist das Ziel, die Hardware- und Software-Komponenten so zu installieren, dass sie eine Kombination aus Web- und Datenbankserver darstellt, auch wenn sie in einer hermetisch getrennten Umgebung (lokales Netzwerk) eingesetzt

wird, aber dennoch die Möglichkeit bietet, die Leistung zu erhöhen und die Zugänglichkeit zu erleichtern.

Die verwendete Hard- und Softwarekonfiguration (s. Anhang 4) der Verkehrs-Analyse-Datenbank (VADb) ist für die Arbeitslast von bis zu fünf Benutzern skaliert.

5.2 Beschreibung der Datenschnittstellen

In die Datenbank werden Verkehrs-, Umfeld- und Schaltdaten aus fünf Bundesländern (Bremen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg und Bayern) integriert (s. Abbildung 3-9). Die Datenformate aller Bundesländer sind für alle Datentypen unterschiedlich. Teilweise gibt es bedingt durch unterschiedliche UZ-Versionen auch innerhalb der Daten eines Bundeslandes Formatunterschiede in den Daten. Zusätzlich stellt die BASt Daten aus ihrem Testfeld auf der A 4 zur Verfügung, die mit den NRW-Daten verschnitten werden müssen.

Ziel ist es, alle Daten in einem einheitlichen Datenformat in die Datenbank zu integrieren. Dazu wurden bereits vorhandene Tools (Grundlage für den „Datenbrowser“, s. Kapitel 3) erweitert.

Da das Datenmodell grundsätzlich standortbezogen aufgebaut ist, muss zunächst eine Standortkonfiguration erstellt werden, wobei der Messquerschnittstandort der Verkehrsdaten den Anker bildet (s. Anhang 8). In dieser Konfiguration werden jedem Messquerschnitt die zugehörigen Fahrstreifendetektoren für die Verkehrserfassung, die zugehörigen Umfelddatensensoren sowie (für beeinflusste Strecken) ein Anzeigequerschnitt zugeordnet.

Bei der Anpassung der Schnittstellen müssen folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Die Daten liegen teilweise in unterschiedlichen Intervallen vor. Datensätze, die nicht im 1min Intervall vorliegen, werden auf 1min Intervalle aggregiert.
- Schaltdaten liegen mit sekundengenauem Zeitstempel für jede Umschaltung vor. Diese Daten werden mit den Verkehrs- und Umfelddaten so verschnitten, dass einem Zeitintervall die zum Intervallbeginn gültige Schaltung zugewiesen wird.

- Fehlerwerte werden in den Datenquellen der Bundesländer unterschiedlich codiert. Daher werden die Fehlerwerte in eine einheitliche Codierung überführt.
- Enumerierte Daten (z.B. Fahrbahnzustand, Niederschlagsart, Schaltzustände der Wechselzeichengeber) werden ebenfalls einheitlich codiert. Die verwendeten Codierungen sind im Datenmodell (s. Kapitel 3.1) dokumentiert.

Ergebnis dieser Datenaufbereitung sind csv-Dateien in einem einheitlichen Datenformat, die dann in die Datenbank importiert werden können. Aufgrund der Datenmenge werden diese csv-Dateien wie folgt strukturiert:

- Daten eines Messquerschnitts (fahrstreifenweise sowie für den gesamten Querschnitt) mit den zugewiesenen Umfeld- und Schaltdaten
- Daten einer Kalenderwoche

5.3 Beschreibung der Bedienoberfläche

Die VADb setzt sich aus mehreren grundsätzlichen Funktionen zusammen. Nach dem Login in die Datenbankbedienoberfläche erhält der Benutzer einen aktuellen Überblick über die Anzahl der Datensätze der Datenbank sowie weitere Informationen zum Zustand der Datenbank (z.B. verbrauchte Speicherressourcen, verfügbarer Speicher).

Über die Funktion „Daten-Upload“ lassen sich die csv-Dateien (s. Kapitel 5.2) per Drag & Drop in die Datenbank laden (vgl. Abbildung 5-1), auch das Hochladen mehrerer csv-Dateien gleichzeitig ist möglich. Somit kann der Datenbestand der Datenbank kontinuierlich vergrößert werden.

Die Funktion „Abfrage“ bietet dem Benutzer die Möglichkeit, auch ohne tiefe SQL-Kenntnisse die Daten der Datenbank zu filtern. Die erstellten Abfragen können mit Bezug auf die auszuwertende These festgelegt und gespeichert werden (vgl. Abbildung 5-2), sodass sie auch nach Aktualisierung des Datenbestands wiederholt werden können. Mit logischen Operatoren werden zunächst die Rahmenbedingungen geschaffen, welche anschließend mit mathematischen Operatoren parametrisiert werden. Dabei ist es möglich, sowohl auf den Daten selbst zu filtern (Tabelle „Daten“ gemäß Datenmodell, s. Kapitel 3.1, z.B. Filtern aller Datensätze mit einer Niederschlagsintensität ≥ 4 mm/h) oder auf

die Metadaten zu filtern (Nutzung der Informationen aus den Tabellen „Standort“, „Infrastruktur“ und „Strecke“ gemäß Datenmodell, s. Kapitel 3.1, z.B. Filtern aller Datensätze mit zweistreifigem Querschnitt). Ebenso besteht die Möglichkeit die Untersuchungszeiträume und Messquerschnitte nach individuellen Bedürfnissen zu filtern, z.B. falls die Sensorik in bestimmten Zeitbereichen fehlerhafte Werte erzeugt hat. Vor der eigentlichen Durchführung der Abfrage schätzt die Datenbankapplikation die zu erwartende Anzahl von Datensätzen ab. Damit kann der Benutzer schon vor der Durchführung einer Abfrage entscheiden, ob er seine Filterkriterien anpassen muss, weil entweder eine zu geringe Datenmenge für eine statistische Aussage zu erwarten ist oder die zu erwartende Datenmenge zu groß wird.

Nach der Erstellung einer Abfrage können diese als „Vorgang“ ausgeführt werden. Vorgänge können zeitlich geplant werden oder sofort gestartet werden. Als Ergebnisse stehen dann zum einen eine csv-Datei in der gleichen Struktur wie die Tabelle „Daten“ gemäß Datenmodell (s. Kapitel 3.1) zur Verfügung und zum anderen eine json-Datei mit den in der Datenbankabfrage verwendeten Filtereinstellungen, für den Fall, dass die verwendeten Filtereinstellungen bei einer weiteren Abfrage geändert werden sollen. Darüber hinaus lassen sich über ein Dropdown-Menü die zu der zu untersuchenden These entsprechenden Auswerteskripte auf die gefilterten Daten anwenden (s. Abbildung 5-4). Die von der Funktion erzeugten png-Bilddateien und statistischen Tabellen im csv-Format werden unabhängig von der durch die Filterung generierten csv-, bzw. json-Datei in einer zip-Datei zusammengefasst und zum Runterladen bereitgestellt. Der Status des laufenden Vorgangs lässt sich jederzeit mit der Funktion „Vorgänge“ nachschauen. Es werden dort die Ergebnisse bereitgestellt und können entsprechend heruntergeladen werden (vgl. Abbildung 5-3). Die VADb ist in Anhang 4 näher beschrieben.

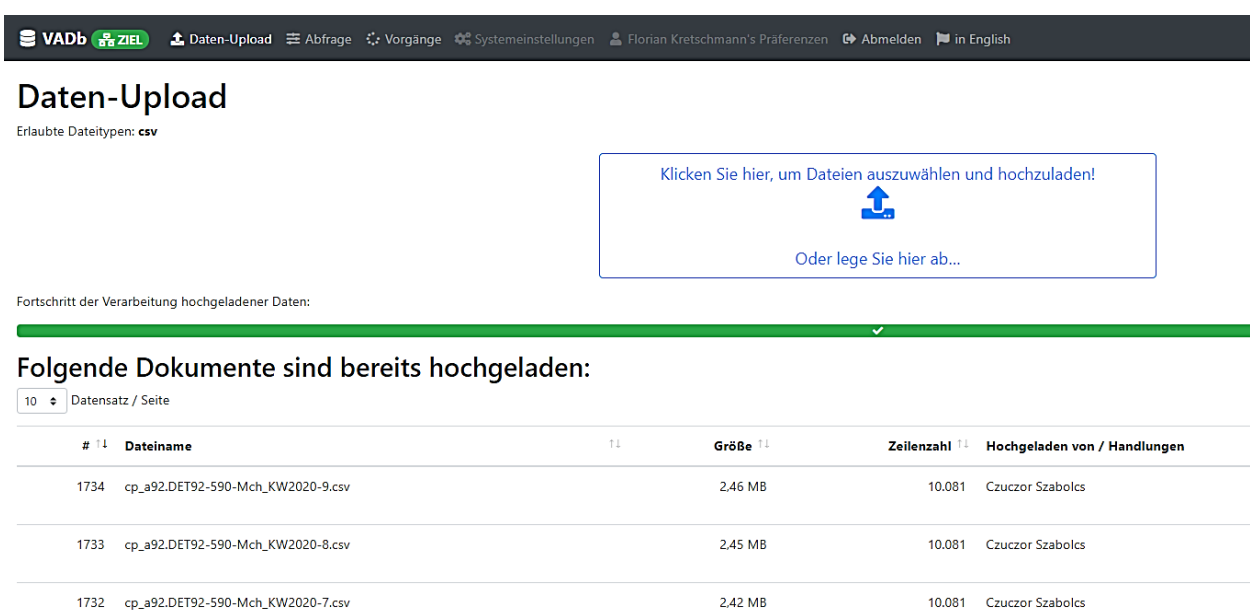


Abbildung 5-1: Benutzeroberfläche der Datenbank, hier: Daten-Upload der csv-Dateien per Drag&Drop

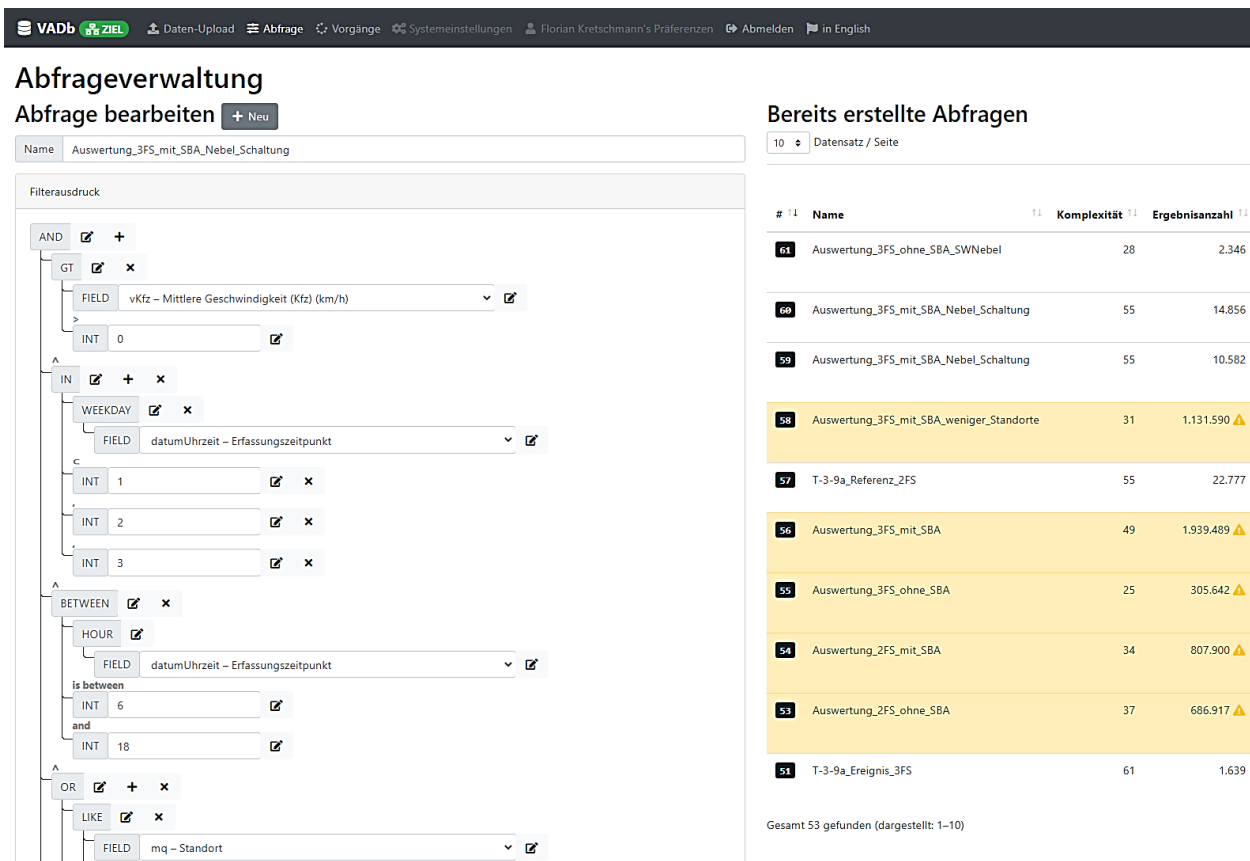


Abbildung 5-2: Benutzeroberfläche der Datenbank, hier: Abfrageverwaltung

#	Name	Abfrage	Komplexität	Gestartet von / Handlungen	Erstellt am				
171	Plausibilitätscheck by Florian Kretschmann (+FS,AQ)	91 (655.200)	11	[Refresh] [Delete] [Download]	10.05.2021. 08:56:58	10.05.2021. 08:56:58	10.05.2021. 09:24:01	10.05.2021. 13:25:28	655.200
169	Auswertung_3FS_ohne_Tag_Gruppe8-v2 by Florian Kretschmann (+FS,AQ)	90 (1.703.318)	30	[Refresh] [Delete] [Download]	04.05.2021. 11:37:03	04.05.2021. 11:37:03	04.05.2021. 12:26:02	04.05.2021. 16:42:51	1.703.318
166	Plausibilitätscheck by Florian Kretschmann (+FS,AQ)	91 (655.200)	11	[Refresh] [Delete] [Download]	03.05.2021. 14:35:54	03.05.2021. 14:35:54	03.05.2021. 14:58:02	03.05.2021. 18:55:39	248.220
164	Auswertung_3FS_ohne_Tag_Gruppe1-v2 by Florian Kretschmann (+FS,AQ)	87 (2.905.829)	27	[Refresh] [Delete] [Download]	30.04.2021. 10:55:13	30.04.2021. 10:55:13	30.04.2021. 11:24:01	30.04.2021. 14:40:15	2.905.829

Abbildung 5-3: Benutzeroberfläche der Datenbank, hier: Übersicht der Vorgänge mit der Möglichkeit des Ergebnis-Downloads

#	Name	Abfrage	Komplexität	Gestartet von	Erstellt am				
227	Auswertung_3FS_Gruppe6 (+FS,AQ)	127 (2.024.362)	17	[Refresh] [Download]	09.11.2021. 11:37:31	09.11.2021. 11:37:31	09.11.2021. 12:07:01	09.11.2021. 12:19:03	2.024.362
226	Auswertung_3FS_Gruppe5 (+FS,AQ)	126 (2.845.228)	17	[Refresh] [Download]	09.11.2021. 11:35:12	09.11.2021. 11:35:12	09.11.2021. 11:48:01	09.11.2021. 12:05:40	2.845.228
225	Auswertung_3FS_Gruppe9 (+FS,AQ)	125 (1.115.648)	17	[Refresh] [Delete] [Download]	09.11.2021. 11:35:12	09.11.2021. 11:35:12	09.11.2021. 11:36:01	09.11.2021. 11:46:50	2.006.638

Abbildung 5-4: Drop-down-Menü der Thesenauswahl

6 Auswertung der Datenbasis

Die in Kapitel 4 erstellten und priorisierten Wirkungsthesen werden nachfolgend statistisch ausgewertet, die Ergebnisse dokumentiert und interpretiert. Die Darstellung erfolgt dabei sowohl in tabellarischer, als auch in graphischer Form.

Zu Beginn werden die relevanten Daten für die entsprechende These gemäß Kapitel 3.2.1 bestimmt, um eine Vergleichbarkeit zwischen Ereignis- und Referenzfall herzustellen. Diese können bspw. eine differenzierte Betrachtung von SBA-Bereichen und der Streifigkeit des jeweiligen Querschnitts sein.

Nach der Auswahl der relevanten Daten werden diese im Anschluss mit dem Datenbrowser gemäß Kapitel 3.2.3 plausibilisiert und für die nachfolgende Verwendung grob verifiziert. Dazu werden sowohl Ganglinien- wie auch Fundamentaldiagramme herangezogen.

Für eine Vergleichbarkeit der Bedingungen der unterschiedlichen Querschnitte werden im zweiten Iterationsschritt thesenabhängig Verkehrsstärkeklassen gebildet. Weiterhin wird, unabhängig von der topologischen Lage, zunächst ausschließlich zwischen SBA- und Nicht-SBA-Bereichen getrennt. Ebenso können besondere verkehrliche Situationen wie Baustellen, Staus, Unfälle, usw. rausgefiltert werden.

Für die weiterführende Auswertung werden diese Daten in der Datenbank mit thesenabhängigen Filtern abgefragt. Die Filter setzen sich aus den zeitlichen, räumlichen sowie die für die Auswertung benötigten Kenngrößen wie bspw. Niederschlagsintensität, Wasserfilmdicke oder Sichtweite zusammen. Im Anschluss an die Datenbankabfrage werden die gefilterten Daten mit den statistischen Tests aus Kapitel 3.2.5 ausgewertet. Dabei werden im Voraus die gefilterten Daten auf eine normalverteilte Verteilung untersucht und anschließend auf Varianzhomogenität geprüft.

Für die Untersuchung sämtlicher Thesen werden die Daten herausgefiltert, wo sich verkehrsbedingte Einflüsse wie Unfälle oder Staus auf den Verkehrsfluss auswirken.

Aus Gründen der Lesbarkeit beziehen sich die Analysen im folgenden Abschnitt ausschließlich auf MQ-Gruppe 4, da es sich dabei gemäß Tabelle 6-1 um die einzige Gruppe handelt, wo sämtliche Thesen ausgewertet werden können. Die Ergebnisse aller weiteren MQ-Gruppen werden in der anschließenden Interpretation berücksichtigt. Die einzelnen Resultate dieser MQ-Gruppen werden in Anhang 6 zusammengefasst.

6.1 Auswertung der Wirkungsthesen

Die Auswertungen der Wirkungsthesen untersuchen den Einfluss unterschiedlicher Witterungsbedingungen auf das Fahrverhalten. Das lässt sich nur durchführen, wenn ausschließlich die Witterungsverhältnisse auf den Verkehr wirken. Daher lassen sich an dieser Stelle nur die Standorte verwenden, welche keine Streckenbeeinflussung aufweisen. Je nach Wirkungsthese werden unterschiedliche Witterungseinflüsse untersucht und erfordern damit auch unterschiedliche Datenbankabfragen und Filtereinstellungen.

Wirkungsthese 1-2a

Die Auswertung der These

„Bei gleicher Verkehrsstärke sinkt bei Niederschlag die Standardabweichung der Geschwindigkeit.“

orientiert sich an den analytischen Schritten der in Kapitel 3.2 erwähnten methodischen Herangehensweise:

1. Auswahl relevanter Daten
2. Plausibilisierung der Daten
3. Filterung der Daten
4. Statistische Auswertung der Daten
5. Interpretation der Ergebnisse.

Mit dieser Wirkungsthese wird untersucht, ob es für bestimmte Verkehrsstärkebereiche durch Niederschlagsereignisse zu Auswirkungen auf die Geschwindigkeitsunterschiede auf den einzelnen Fahrstreifen gibt. Dafür werden trockene Witterungsverhältnisse mit Niederschlag verglichen. Das Ziel ist zu untersuchen, welchen Niederschlagsereignisse auf den Verkehr haben.

Nach der Ermittlung der relevanten Daten sowie deren Plausibilisierung kann mit dem festgelegten Untersuchungszeitraum und den MQ aus unterschiedlichen MQ-Gruppen sowie mit der Definition der These die Abfrage in der Datenbank mit folgenden Parametern durchgeführt werden:

- Niederschlag (Ereignisfall H_{Ereignis}):
 - $1,2 \text{ mm/h} \leq NI < 400 \text{ m}$
- Kein Niederschlag (Referenzfall H_{Ref}):

- Niederschlagsintensität $< 0,1 \text{ mm/h}$
- Verkehrsstärke für die Darstellung in Heatmaps
- Verkehrsstärke, gruppiert in 500 Kfz/h-Einheiten für die statistische Auswertung
- Fahrstreifenbezogene Standardabweichung der Geschwindigkeit $s(v) > 0 \text{ km/h}$

Das Niederschlagsereignis wird im MARZ 2018 in unterschiedliche Gruppen klassifiziert. Dabei wird eine von der Wasserfilmdicke unabhängige, niederschlagsbasierte Schaltung ab einer Niederschlagsintensität von $1,2 \text{ mm/h}$ geschaltet, wodurch der Grenzwert für Niederschlag auf diesen Schwellenwert festgelegt wird. Die Obergrenze von 400 mm/h schließt an dieser Stelle Fehlercodes und fehlerhafte Werte aus. Die unterschiedlichen Verkehrsstärken werden für eine übersichtlichere statistische Auswertung in Gruppen zusammengefasst, in diesem Fall in Intervalle mit einer Spannweite von 500 Kfz/h .

Die statistische Auswertung erfolgt mit der Standardabweichung der Geschwindigkeit, welche das Streuungsmaß der Geschwindigkeitsdifferenzen aufeinanderfolgender Fahrzeuge auf einem Fahrstreifen wiedergibt. Mit der These wird also angenommen, dass die schlechteren Fahrtbedingungen bei Niederschlag, unabhängig von der Verkehrsstärke, den Verkehrsfluss bzw. das Geschwindigkeitsverhalten harmonisieren. Für die Untersuchung wird daher mit der Anwendung von Hypothesentests zunächst entgegen der Annahme und in Abhängigkeit der Wirkungsthese die Nullhypothese H_0 definiert:

$$H_0: \sigma^2_{\text{kein Niederschlag}} \leq \sigma^2_{\text{Niederschlag}}$$

Die zu widerlegende Nullhypothese behauptet demnach, dass bei gleicher Verkehrsstärke die Standardabweichung der Geschwindigkeit bei Niederschlag steigt.

Darüber hinaus werden die gefilterten Ergebnisse mit dem Shapiro-Wilk-Test auf Gleichheit geprüft und anschließend der F-Test zur Überprüfung der Nullhypothese angewendet.

Die Ergebnisse der Tests für MQ-Gruppe 4 für dreistreifige Querschnitte lassen sich in Tabelle 6-2 bis Tabelle 6-4 nachvollziehen.

Tabelle 6-2: Ergebnisse der statistischen Auswertung für den rechten Fahrstreifen für These 1-2a

Rechter Fahrstreifen												
Zwei-Stichproben F-Test	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]		2000 - 2500 [Kfz/h]		2500 - 3000 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95											
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	9,895	8,483	11,954	10,103	12,058	9,812	10,807	8,392	10,296	7,914	9,464	7,083
Varianz	37,084	25,051	27,731	18,684	18,726	14,943	12,923	10,286	9,856	7,598	8,876	6,188
Beobachtungen	666915	17815	672804	14449	414158	9654	136270	3698	33270	653	4134	36
Freiheitsgrade (df)	666914	17814	672803	14448	414157	9653	136269	3697	33269	652	4133	35
Shapiro p-Wert	0	0	0	1,68E-44	0	1,10E-35	0	1,27E-24	1,23E-43	2,60E-10	2,62E-20	1,69E-03
Levene p-Wert	1,59E-167		5,33E-161		2,12E-27		4,92E-09		2,27E-04		1,29E-01	
Prüfgröße (F)	1,48		1,484		1,253		1,256		1,297		1,434	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16		4,39E-06		0,091	
Kritischer F-Wert	1,018		1,020		1,024		1,040		1,099		1,549	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein		nein		nein		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen	

Tabelle 6-3: Ergebnisse der statistischen Auswertung für den mittleren Fahrstreifen für These 1-2a

Mittlerer Fahrstreifen											
Zwei-Stichproben F-Test	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]		2000 - 2500 [Kfz/h]		
	Signifikanzniveau 0,95										
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	
Mittelwert s(v)	9,902	8,526	11,032	9,368	10,424	9,074	10,155	8,570	9,363	7,643	
Varianz	46,018	28,685	25,998	16,468	15,810	11,316	12,472	10,396	10,087	6,087	
Beobachtungen	616028	15087	605050	16244	433964	9862	55654	862	2148	14	
Freiheitsgrade (df)	616027	15086	605049	16243	433963	9861	55653	861	2147	13	
Shapiro p-Wert	0	0	0	0	0	0	0	1,53E-20	8,96E-25	0,239	
Levene p-Wert	1,91E-136		7,39E-245		3,49E-111		1,54E-05		0,318		
Prüfgröße (F)	1,604		1,579		1,397		1,200		1,657		
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16		1,41E-04		0,147		
Kritischer F-Wert	1,019		1,019		1,024		1,085		2,133		
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein		nein		ja		
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen		

Tabelle 6-4: Ergebnisse der statistischen Auswertung für den linken Fahrstreifen für These 1-2a

Linker Fahrstreifen											
Zwei-Stichproben F-Test	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]		2000 - 2500 [Kfz/h]		
	Signifikanzniveau 0,95										
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	
Mittelwert s(v)	10,720	8,961	12,034	9,549	11,892	9,292	11,602	8,789	11,089	8,910	
Varianz	47,722	30,499	22,195	15,478	19,025	14,245	19,011	12,356	16,032	12,803	
Beobachtungen	653461	17012	508007	14103	174911	3802	32175	569	8315	111	
Freiheitsgrade (df)	653460	17011	508006	14102	174910	3801	32174	568	8314	110	
Shapiro p-Wert	0	0	0	0	0	2,16E-39	0	5,52E-16	7,78E-42	1,01E-07	
Levene p-Wert	1,77E-227		1,18E-164		1,34E-35		1,77E-10		0,035		
Prüfgröße (F)	1,565		1,434		1,336		1,539		1,252		
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16		9,46E-12		0,060		
Kritischer F-Wert	1,018		1,020		1,039		1,106		1,268		
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein		nein		ja		
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen		

Die statistische Auswertung für MQ-Gruppe 4 zeigt, dass bei hohen Verkehrsstärken (rechter Fahrstreifen ab 2.500 Kfz/h, mittlerer und linker Fahrstreifen ab 2.000 Kfz/h) die Unterschiede zwischen trockenen und niederschlagsbedingten Witterungsverhältnissen nicht mehr signifikant sind. Die Nullhypothese H_0 muss demnach angenommen werden, da

sowohl der p-Wert des F- wie auch des Levene-Tests unter dem definierten Signifikanzniveau $\sigma = 0,05$ liegen. In den meisten Fällen lässt sich diese Erkenntnis in den zusätzlich betrachteten MQ-Gruppen in Anhang 6 bestätigen. Jedoch lässt sich die Nullhypothese H_0 in den meisten Fällen bei geringerer Verkehrsstärke ablehnen.

Die Ergebnisse lassen sich auch graphisch für die MQ-Gruppe 4 in Abbildung 6-1 bis Abbildung 6-3 verdeutlichen. Wie in Kapitel 4.2 beschrieben, lassen sich durch die Transparenz der Punkte überlagerte Werte durch eine intensivere Farbe darstellen. Durch die vorsortierte Niederschlagsintensität in aufsteigender Reihenfolge lassen sich die Punkte mit höherer Niederschlagsintensität im Vordergrund abbilden.

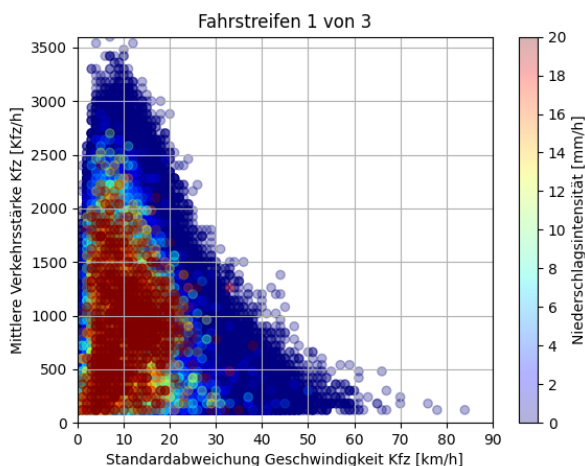


Abbildung 6-1: Verteilung der Standardabweichungen der Geschwindigkeit für unterschiedliche Niederschlagsintensitäten für den rechten Fahrstreifen für MQ-Gruppe 4 ohne SBA

In Abbildung 6-1 ist deutlich die reduzierte Verkehrsstärke sowie die Standardabweichung der Geschwindigkeit bei einsetzenden Niederschlagsereignissen zu erkennen. Bei steigender Verkehrsstärke nähert sich die Standardabweichung jedoch leicht dem Verlauf der Standardabweichung bei trockenen Witterungsverhältnissen an.

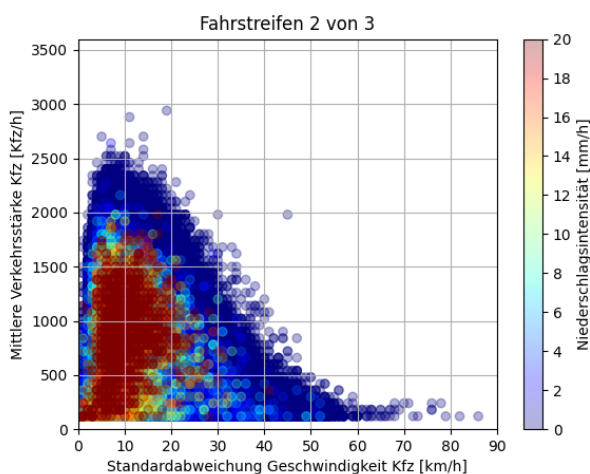


Abbildung 6-2: Verteilung der Standardabweichungen der Geschwindigkeit für unterschiedliche Niederschlagsintensitäten für den mittleren Fahrstreifen für MQ-Gruppe 4 ohne SBA

Wie beim rechten Fahrstreifen zeigen farblich markierten Punkte in Abbildung 6-2 für den mittleren Fahrstreifen einen ähnlichen Verlauf an. Jedoch ist bei abnehmender Verkehrsstärke und trockenen Witterungsbedingungen die Standardabweichungen der Geschwindigkeit grundlegend höher als beim rechten Fahrstreifen.

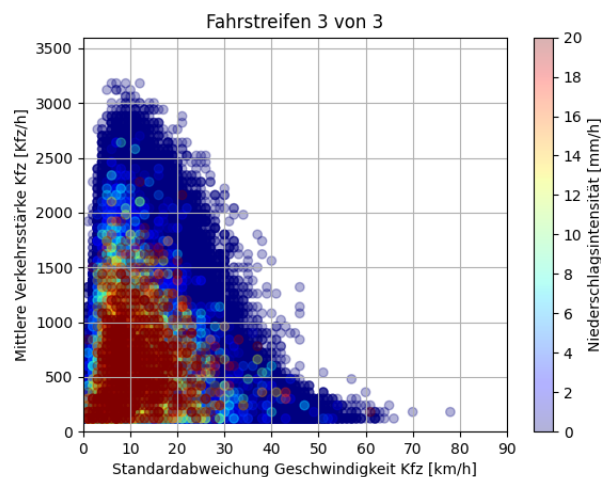


Abbildung 6-3: Verteilung der Standardabweichungen der Geschwindigkeit für unterschiedliche Niederschlagsintensitäten für den linken Fahrstreifen für MQ-Gruppe 4 ohne SBA

Die Punkteverteilung des linken Fahrstreifens in Abbildung 6-3 ähnelt bzgl. des Witterungseinflusses sehr stark der Verteilung des mittleren Fahrstreifens mit dem Unterschied, dass die Verkehrsstärke beim linken Fahrstreifen bei Niederschlag deutlich geringer gegenüber der Verkehrsstärke bei trockenen Witterungsverhältnissen ausfällt.

Unter Berücksichtigung der hier untersuchten MQ-Gruppe 4 sowie der zusätzlich untersuchten MQ-Gruppen in Anhang 6 lässt sich die Wirkungsthese ausschließlich für hohe Verkehrsstärken ablehnen. Offensichtlich ist der Effekt des Niederschlagsereignisses auf die Standardabweichung der Geschwindigkeit bei hohen Verkehrsstärke und den daraus resultierenden Interaktionen zwischen den Verkehrsteilnehmern vernachlässigbar. Demnach kann die These, dass

„Bei gleicher Verkehrsstärke bei Niederschlag die Standardabweichung der Geschwindigkeit sinkt.“

Durch die Widerlegung der Nullhypothese H_0 überwiegend angenommen werden. Beim Ausschluss hoher Verkehrsstärken ≥ 2.000 Kfz/h/FS senkt sich demnach signifikant die Standardabweichung der Geschwindigkeit bei Niederschlag.

Die Wirkungsthese T1-8

„Bei Niederschlagsereignissen streut die gefahrene Geschwindigkeit stärker, als bei trockenen Witterungsbedingungen.“

kann als Ergänzung zu T1-2a verwendet werden, da hier der Einfluss von Niederschlagsereignissen auf die mittlere gefahrene Geschwindigkeit je Fahrstreifen untersucht wird. Die Datenbankabfrage erfolgt demnach mit den identischen Parametern wie bei These 1-2a, mit dem Unterschied, dass die mittlere lokale Geschwindigkeit v statt die Standardabweichung $s(v)$ für die Analyse verwendet wird.

Die statistische Auswertung der These erfolgt fahrfreifenspezifisch im Hinblick auf die mittlere lokale

Tabelle 6-5: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 1-8

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen		mittlerer Fahrstreifen		linker Fahrstreifen	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert $s(v)$	11,149	9,249	10,441	8,980	11,376	9,227
Varianz	28,610	20,124	30,390	19,652	34,178	22,541
Beobachtungen	1927696	46305	1712861	42070	1378024	35605
Freiheitsgrade (df)	1927695	46304	1712860	42069	1378023	35604
Shapiro p-Wert	0	0	0	0	0	0
Levene p-Wert	0,000		0,000		0,000	
Prüfgröße (F)	1,422		1,546		1,516	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16	
Kritischer F-Wert	1,011		1,012		1,013	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Die statistische Auswertung zeigt, dass sowohl beim untersuchten MQ der Gruppe 4 als auch bei allen weiteren ausgewerteten Messquerschnitten (s. Anhang 6) die Nullhypothese H_0 abgelehnt werden kann.

Die Ergebnisse können auch optisch in Form von Boxplots (s. Abbildung 6-4) herangezogen werden, um statistische Größen zwischen den zu untersuchenden Fällen übersichtlich darzustellen.

Geschwindigkeit für den Fall Niederschlag / kein Niederschlag . Die Nullhypothese H_0 wird dementsprechend gegenteilig der Anforderungen der These zu

$$H_0: \sigma^2_{\text{Niederschlag}} \leq \sigma^2_{\text{kein Niederschlag}}$$

aufgestellt. Damit ist zu widerlegen, dass die gefahrene mittlere Geschwindigkeit bei trockenen Witterungsbedingungen stärker variiert als bei Niederschlagsereignissen.

Die statistische Auswertung erfolgt wie bei These 1-2a mit der gleichen Auswertemethodik. Die Ergebnisse des F-Tests für dreistreifige Querschnitte lassen sich mit Tabelle 6-5 nachvollziehen.

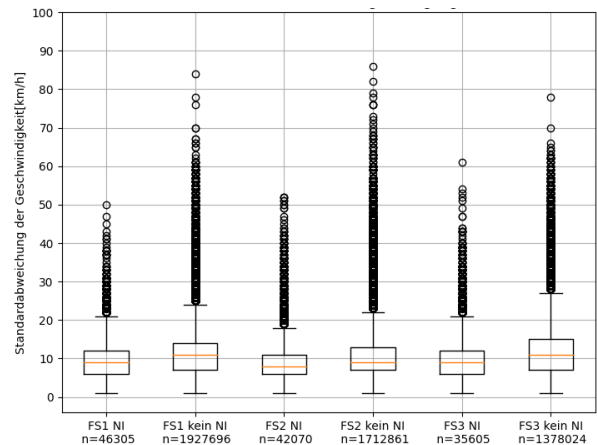


Abbildung 6-4 Wirkung von Niederschlagsereignissen auf einen dreistreifigen Querschnitt (hier: MQ-Gruppe 4, ohne SBA)

Die Mediane der mittleren Standardabweichungen der Geschwindigkeit ist bei Niederschlagsereignissen für die gleichen Fahrstreifen jeweils geringer als

bei trockenen Witterungsverhältnissen. Auch das erste und dritte Quartil der jeweiligen Fahrstreifen liegen bei Niederschlag dichter beieinander und die Anzahl der Ausreißer für hohe Standardabweichungen nimmt ebenfalls ab, was auf eine starke Wirkung von Niederschlagsereignissen auf den Verkehr in Form einer Harmonisierung hinweist.

Demnach kann für alle untersuchten MQ-Gruppen die Wirkungsthese, dass

„Bei Niederschlagsereignissen die gefahrene Geschwindigkeit stärker streut, als bei trockenen Witterungsbedingungen.“

durch die Widerlegung der Nullhypothese H_0 bestätigt werden. Die gefahrenen Geschwindigkeiten streuen demnach signifikant weniger bei regnerischen Witterungsverhältnissen als bei trockenen.

Wirkungsthese 1-3

Für die Auswertung der These

„Niederschlag beeinflusst das Fundamentaldiagramm so deutlich, dass es sinnvoll ist, die Harmonisierungsparameter bei Niederschlag anzupassen“

werden nach vorangestellter Auswahl und Plausibilisierung der Daten anhand der Thesendefinition die nachfolgenden Daten gefiltert:

- Niederschlag (Ereignisfall):
 - $1,2 \text{ mm/h} \leq \text{NI}$
- Kein Niederschlag (Referenzfall):
 - $\text{NI} < 0,1 \text{ mm/h}$
- Mittlere Verkehrsstärke $Q > 0 \text{ Kfz/h}$
- Mittlere lokale Geschwindigkeit $v > 0 \text{ km/h}$

Für die Darstellung und Untersuchung des Fundamentaldiagramms in Form eines Q-v-Diagramms werden alle vorhandenen Verkehrsstärken sämtlicher Fahrstreifen verwendet, die Auswertung erfolgt also nicht fahrestreifenbezogen. Die Darstellung der Nässe erfolgt bichrom und wird in die Zustände „trocken“ (bzw. „keine Nässe“) und „nass“ gegliedert.

Die mittlere lokale Geschwindigkeit bildet die Grundlage für die Durchführung der statistischen Auswertung. Dabei wird untersucht, inwieweit Nässe das Fundamentaldiagramm beeinflusst und ob daraus resultierend eine Anpassung von Harmonisierungsparametern denkbar ist. Für die Analyse

der Wirkungsthese wird für die Definition der Nullhypothese H_0 die Annahme der These zu

$$H_0: \sigma^2_{\text{trocken}} \leq \sigma^2_{\text{nass}}$$

umgekehrt. Demnach behauptet die zu widerlegende Nullhypothese H_0 , dass die mittlere Geschwindigkeit v bei trockenen Witterungsverhältnissen abnimmt und bei Nässe zunimmt.

Durch den parabolischen Verlauf des Q-v-Diagramms wird für die statistische Auswertung der Verkehrsstärke sowie der mittleren Geschwindigkeit die Werte des oberen 5 % Perzentsils der mittleren Geschwindigkeit verwendet, um eine Vergleichbarkeit bei ähnlichen Verkehrsverhältnissen herzustellen. Für MQ-Gruppe 4 werden die Ergebnisse in Tabelle 6-6 aufgelistet.

Tabelle 6-6: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 1-3

Zwei-Stichproben F-Test	Nässe - Verkehrsstärke		Nässe - Geschwindigkeit	
	Signifikanzniveau 0,95			
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert	2472,3	2319,9	79,1	56,7
Varianz	863803,933	794253,887	288,507	423,901
Beobachtungen	66589	1681	66589	1681
Freiheitsgrade (df)	66588	1680	66588	1680
Shapiro p-Wert	0	7,155E-22	0	2,864E-34
Levene p-Wert	2,969E-01		7,484E-94	
Prüfgröße (F)	1,088		1,469	
p-Wert F-Test	8,867E-03		1,110E-16	
Kritischer F-Wert	1,060		1,058	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Die F-Statistik widerlegt die vordefinierte Nullhypothese H_0 für MQ-Gruppe 4 wie auch für die MQ-Gruppen in Anhang 6 sowohl für die Verkehrsstärke wie auch für die mittlere Geschwindigkeit für das 5 %-Perzentil der höchsten mittleren Geschwindigkeiten. Die Varianzen der entsprechenden Kenngrößen unterscheiden sich bei niederschlagsbasierten Witterungsverhältnissen demnach signifikant gegenüber Witterungsverhältnissen ohne Niederschlag.

Die Ergebnisse für MQ-Gruppe 4 sind in der folgenden Abbildung 6-5 dargestellt.

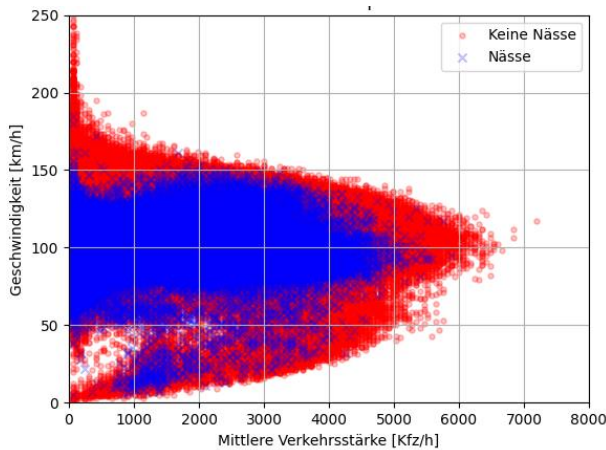


Abbildung 6-5 Fundamentaldiagramm der Messquerschnitte aus Gruppe 4 (ohne SBA) getrennt nach „nass“ und „trocken“

Bei Nässe ist sowohl die mittlere Geschwindigkeit leicht wie auch die maximal erreichbare Verkehrsstärke (Kapazität) reduziert und könnte bei der Findung der optimalen Parameter für eine Harmonisierung berücksichtigt werden.

Die Wirkungsthese T1-3, dass

„Niederschlag das Fundamentaldiagramm so deutlich beeinflusst, dass es sinnvoll ist, die Harmonisierungsparameter bei Niederschlag anzupassen“

kann demnach für alle untersuchten MQ-Gruppen durch die Widerlegung der Nullhypothese H_0 bestätigt werden. Die gefahrenen Geschwindigkeiten sowie die Verkehrsstärken unterscheiden sich demnach signifikant bei niederschlagsbedingten Witterungsverhältnissen von den trockenen.

Die Wirkungsthese T1-3 lässt sich mit **These T1-4**

„Bei Dunkelheit wirkt sich ein Niederschlagsereignis verstärkt auf das Fundamentaldiagramm aus“

ergänzen, wobei die gefilterten Daten gemäß der Definition der These zusätzlich um Helligkeitswerte erweitert werden müssen.

Der Grenzwert für einsetzende Dunkelheit wird in dieser Untersuchung auf < 2.000 Lux festgelegt. Der Wert der Helligkeit entspricht gemäß MARZ 2018 der Schwelle, wo es bei einer Helligkeit von weniger als 2.000 Lux zwischen „Tag“ und „Dämmerung“ wechselt.

Für die Untersuchung und Darstellung des Fundamentaldiagramms in Form eines Q-v-Diagramms werden alle vorhandenen Verkehrsstärken sämtlicher Fahrstreifen verwendet.

Für die Durchführung der statistischen Auswertung wird die mittlere lokale Geschwindigkeit herangezogen. Dabei wird untersucht, inwieweit sich die Verdunklung des Himmels bei gleichzeitigem Niederschlagsereignis auf das Fundamentaldiagramm auswirkt. Dabei wird angenommen, dass die Wirkung eines solchen Ereignisses das Fundamentaldiagramm stärker beeinflusst als ein Niederschlagsereignis bei einer helleren Umgebung. Die Nullhypothese H_0 wird entgegen der Wirkungsthese zu

$$H_0: \sigma^2_{\text{Niederschlag bei heller Umgebung}} \leq \sigma^2_{\text{Niederschlag bei dunkler Umgebung}}$$

angenommen. Demnach behauptet die zu widerlegende Nullhypothese H_0 , dass die mittlere Geschwindigkeit v bei regnerischen, aber hellen Witterungsverhältnissen abnimmt und bei Niederschlagsereignissen bei dunklerer Umgebung zunimmt.

Auch hier werden aufgrund des parabolischen Verlaufs des Q-v-Diagramms wieder die Werte des oberen 5 % Perzils der gefahrenen Geschwindigkeiten verwendet. Die Ergebnisse des durchgeführten Hypothesentests für MQ-Gruppe 4 sind in Tabelle 6-7 zusammengefasst.

Tabelle 6-7: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 1-4

Zwei-Stichproben F-Test	HK - Verkehrsstärke		HK - Geschwindigkeit	
	Signifikanzniveau 0,95			
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert	2220,9	2405,1	67,0	51,8
Varianz	741653,321	718408,015	416,526	470,435
Beobachtungen	133	754	133	754
Freiheitsgrade (df)	132	753	132	753
Shapiro p-Wert	2,267E-05	5,453E-11	3,379E-14	5,027E-23
Levene p-Wert	9,446E-01		5,789E-03	
Prüfgröße (F)	1,032		1,129	
p-Wert F-Test	3,944E-01		1,937E-01	
Kritischer F-Wert	1,233		1,258	
$F_{pr} < F_{kr}$	ja		ja	
Ergebnis	H_0 annehmen		H_0 annehmen	

Im Gegensatz zu MQ-Gruppe 2 in Anhang 6 kann für MQ-Gruppe 4 die Nullhypothese H_0 sowohl für die Verkehrsstärke wie auch für die mittlere Geschwindigkeit nicht widerlegt werden. Die Varianzen der entsprechenden Kenngrößen unterscheiden sich demnach bei MQ-Gruppe 4 nicht signifikant, jedoch bei MQ-Gruppe 2 in Anhang 6, sodass für diese These kein eindeutiges Ergebnis bestimmt werden kann.

Die Annahme der These ist für MQ-Gruppe 4 graphisch in Abbildung 6-6 dargestellt. Dabei sind die Werte von Niederschlagsereignissen bei Dunkelheit im Vordergrund.

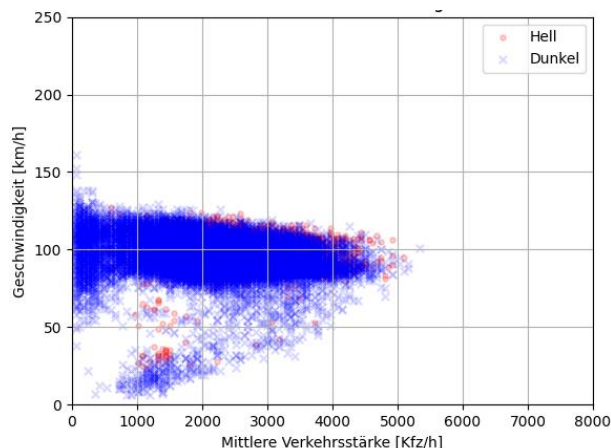


Abbildung 6-6: Fundamentaldiagramm der Messquer-schnitte aus Gruppe 4 (ohne SBA) getrennt nach „Niederschlag im Hellen“ und „Niederschlag im Dunkeln“

Im Diagramm wird ersichtlich, dass sich bei Niederschlagsereignissen mit einer Niederschlagsintensität von mehr als 1,2 mm/h die blauen („dunkel“) und („roten“) Punkte nahezu überlagern. Das Geschwindigkeitsniveau an dieser Stelle ist deckungsgleich zum Niveau in These 1-3 und zeigt, dass sich das Niederschlagsereignis bei Dunkelheit nicht verstärkt auf das Fundamentaldiagramm auswirkt. Dasselbe Resultat lässt sich auch bei der Betrachtung von MQ-Gruppe 2 in Anhang 6 erkennen.

Für alle untersuchten MQ-Gruppen kann die Wirkungsthese T1-4, dass

„Bei Dunkelheit sich ein Niederschlagsereignis verstärkt auf das Fundamentaldiagramm auswirkt“

nicht eindeutig angenommen oder verworfen werden. Somit bleibt offen ob bei niederschlagsbasierten Witterungsverhältnissen bei Dunkelheit ein eindeutiger Einfluss auf das Fundamentaldiagramm vorliegt.

Wirkungsthese 1-3b

Die Untersuchung der These

„Nebel beeinflusst das Fundamentaldiagramm so deutlich, dass es sinnvoll ist, die Harmonisierungsparameter bei Nebel anzupassen.“

erfolgt ähnlich zur o.g. Wirkungsthese T1-3 für Niederschlag, jedoch wird hier der Parameter Sichtweite anstatt Niederschlag herangezogen. Nach vorangestellter Auswahl und Plausibilisierung der relevanten Daten werden die Daten wie in These T1-3 im Hinblick auf die Thesendefinition folgendermaßen in der Datenbank gefiltert:

- Nebel (Ereignisfall):
 - $0 < \text{Sichtweite} \leq 400 \text{ m}$
- Kein Nebel (Referenzfall):
 - $400 < \text{Sichtweite}$
- Mittlere Verkehrsstärke $Q > 0 \text{ Kfz/h}$
- Mittlere lokale Geschwindigkeit $v > 0 \text{ km/h}$

Die Darstellung und Untersuchung des Fundamentaldiagramms in Form eines Q-v-Diagramms orientiert sich an Wirkungsthese T1-3 für Niederschlag, die Zustände werden jedoch in „kein Nebel“ und „Nebel“ gegliedert.

Bei T1-3b bildet wie bei T1-3 die mittlere lokale Geschwindigkeit die Grundlage für die Durchführung der statistischen Auswertung. Dabei wird untersucht, inwieweit Nebel das Fundamentaldiagramm beeinflusst und ob daraus resultierend eine Anpassung von Harmonisierungsparametern denkbar ist. Umgekehrt zur Definition der Wirkungsthese wird die Nullhypothese zu

$$H_0: \sigma^2_{\text{kein Nebel}} \leq \sigma^2_{\text{Nebel}}$$

angenommen. Demnach behauptet die zu widerlegende Nullhypothese H_0 , dass die mittlere Geschwindigkeit v bei guten Sichtverhältnissen ($SW > 400 \text{ m}$) abnimmt und bei Nebel zunimmt.

Wie schon bei Wirkungsthese T1-3 für Niederschlag werden aufgrund des parabolischen Verlaufs des Q-v-Diagramms wieder die Werte des oberen 5 % Perzentils der gefahrenen Geschwindigkeiten herangezogen. In Tabelle 6-8 sind die Ergebnisse der statistischen Tests für MQ-Gruppe 4 zusammengefasst.

Tabelle 6-8: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 1-3b

Zwei-Stichproben F-Test	Nebel - Verkehrsstärke		Nebel - Geschwindigkeit	
	Signifikanzniveau 0,95			
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert	2375,1	2454,4	77,9	83,9
Varianz	771632,7	819952,57	279,083	188,641
Beobachtungen	52380	344	52380	344
Freiheitsgrade (df)	52379	343	52379	343
Shapiro p-Wert	0	1,461E-08	0	1,264E-26
Levene p-Wert	3,620E-03		1,581E-01	
Prüfgröße (F)	1,063		1,479	
p-Wert F-Test	2,031E-01		9,054E-07	
Kritischer F-Wert	1,129		1,139	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Sowohl für MQ-Gruppe 4 wie auch für MQ-Gruppe 7 in Anhang 6 kann die Nullhypothese H_0 sowohl für die Verkehrsstärke wie auch für die mittlere Geschwindigkeit verworfen werden. Die Varianzen der entsprechenden Kenngrößen unterscheiden sich bei Nebel demnach signifikant von Witterungsverhältnissen ohne Nebel.

Das Ergebnis für MQ-Gruppe 4 lässt sich auch hier durch ein bichromes Streudiagramm in Abbildung 6-7 darstellen.

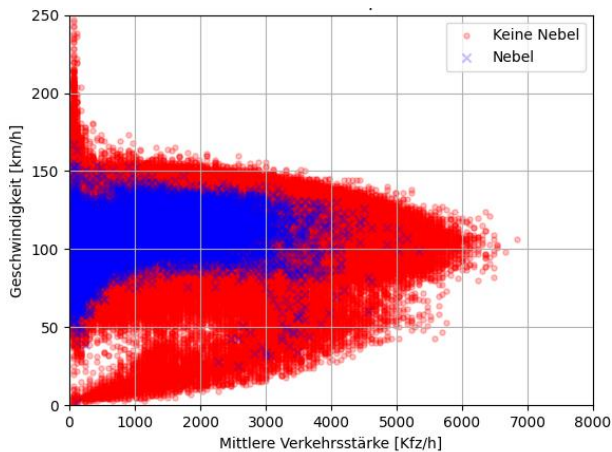


Abbildung 6-7 Fundamentaldiagramm der Messquerschnitte aus Gruppe 4 (ohne SBA) getrennt nach „Nebel“ und „kein Nebel“

Bei Nebel ist bei MQ-Gruppe 4 sowohl die mittlere Geschwindigkeit als auch die maximal erreichbare Verkehrsstärke (Kapazität) reduziert und könnte bei der Findung der optimalen Parameter für eine Harmonisierung berücksichtigt werden. Die Auswertung der MQ-Gruppen in Anhang 6 weisen ebenfalls sowohl eine Reduktion der gefahrenen Geschwindigkeit wie auch der erreichbaren Verkehrsstärke auf.

Die Wirkungsthese T1-3b, dass

„Nebel das Fundamentaldiagramm so deutlich beeinflusst, dass es sinnvoll ist, die Harmonisierungsparameter bei Nebel anzupassen“

kann demnach für alle untersuchten MQ-Gruppen durch die Widerlegung der Nullhypothese H_0 bestätigt werden. Die gefahrenen Geschwindigkeiten sowie die Verkehrsstärken unterscheiden sich demnach signifikant bei Nebel von Witterungsverhältnissen ohne Sichtweitereinschränkung.

Wirkungsthese 3-6

Für die Analyse der Wirkungsthese

„Die Varianz der Geschwindigkeit nimmt mit abnehmender Sichtweite zu, da Verkehrsteilnehmer ihr Können stärker unter bzw. überschätzen.“

werden wie bei den vorigen Wirkungsthesen die relevanten Daten ermittelt, plausibilisiert und schließlich thesenorientiert mit den folgenden Parametern gefiltert:

- 0 m < Sichtweite ≤ 400 m
- Fahrstreifenbezogene Standardabweichung der Geschwindigkeit $s(v) > 0$ km/h
- Verkehrszustand „freier Verkehr“

Mit dieser Wirkungsthese wird angenommen, dass die Varianz der Geschwindigkeit bei abnehmender Sichtweite steigt, da das subjektive Fahrkönnen der Verkehrsteilnehmer und die damit verbundene Geschwindigkeit schwanken.

Der Schwellenwert, ab welchem die Sichtweite den Verkehrsablauf beeinflusst, wird hier bei 400 m definiert und orientiert sich dabei an den in der MARZ 2018 festgelegten Grenze für die erste Schaltungsstufe SW 1 für die Erstversorgung bei Nebel. Die Verkehrsstufe „freier Verkehr“ wird wie in Kapitel 3.2.4 beschrieben mit der fahrstreifenabhängigen, querschnittsbezogenen Verkehrsdichte gemäß MARZ 2018 bestimmt.

Für die Überprüfung dieser These wird im Gegensatz zu den anderen Thesen die lineare Regressionsanalyse herangezogen. Die Nullhypothese H_0 wird dabei ebenfalls entgegen zur Annahme der Wirkungsthese zu

$$H_0: \sigma^2_{\text{geringe Sichtweite}} \leq \sigma^2_{\text{normale Sichtweite}}$$

festgelegt. Jedoch beschreibt die zu widerlegende Nullhypothese H_0 in diesem Fall, dass die Regressionsgerade

$$s(v) = \alpha + \beta \cdot SW$$

eine Steigung von Null aufweist, sich also die Standardabweichung der Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Sichtweite nicht ändert. Mit der Anwendung

Tabelle 6-9: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 3-6

lineare Regressionsanalyse	rechter Fahrstreifen	mittlerer Fahrstreifen	linker Fahrstreifen
	Signifikanzniveau 0,95		
Mittelwert SW	199,796	195,856	240,995
Mittelwert $s(v)$	11,634	11,342	11,139
Achsenabschnitt α	12,994	11,941	10,283
Steigung β	-0,007	-0,003	0,004
Standardabweichung SW	102,225	104,064	99,411
Standardabweichung $s(v)$	5,559	5,423	6,059
Beobachtungen	12415	10421	3521
Pearson-R-Wert	-0,125	-0,059	0,058
p-Wert lin. Regression	1,53E-44	2,01E-09	5,43E-04
p-Wert > 0,05 (1 - Sig.niv.)	nein	nein	nein
Ergebnis	H_0 verwerfen	H_0 verwerfen	H_0 verwerfen

Im Hinblick auf MQ-Gruppe 4 zeigt die statistische Auswertung, dass die Nullhypothese H_0 für alle Fahrstreifen verworfen werden kann, also sich die Standardabweichung der Geschwindigkeit bei abnehmender Sichtweite signifikant verändert. An dieser Stelle ist jedoch zusätzlich die Steigung β oder der Korrelationskoeffizient, bzw. der Pearson-R-Wert zu berücksichtigen, da dieser durch das Vorzeichen angibt, welche Steigung die Regressionsgerade aufweist. Für den Fall, dass die Steigung β bzw. der Pearson-R-Wert negativ ist, steigt die Standardabweichung der Geschwindigkeit bei abnehmender Sichtweite. Bei positivem Vorzeichen sinkt die Standardabweichung der Geschwindigkeit bei abnehmender Sichtweite. Der Pearson-R-Wert von MQ-Gruppe 4 weist hier im Gegensatz zum linken Fahrstreifen für den rechten und mittleren Fahrstreifen ein negatives Vorzeichen auf, was an dieser Stelle die Wirkungsthese bestätigt. Die zusätzlichen MQ-Gruppen in Anhang 6 können die These bis auf den rechten Fahrstreifen jedoch nicht bestätigen, da die entsprechenden Nullhypothesen H_0 nicht verworfen werden können.

Die graphische Auswertung erfolgt für diese These über zwei unterschiedliche Darstellungsformen. Zum einen wird die fahrstreifenbezogene Standardabweichung der Geschwindigkeit $s(v)$ mit der

der linearen Regressionsanalyse gilt es, die Nullhypothese H_0 zu widerlegen, dass sich die Standardabweichung der Geschwindigkeit bei abnehmender Sichtweite nicht verändert.

In Tabelle 6-9 sind die Ergebnisse der linearen Regressionsanalyse für die dreistreifigen Querschnitte aus MQ-Gruppe 4 dargestellt.

Sichtweite in Form einer linearen Regressionsgerade dargestellt (s. Abbildung 6-8, Abbildung 6-10, Abbildung 6-12). Zum anderen werden für die Auswertung Boxplots erstellt (s. Abbildung 6-9, Abbildung 6-11, Abbildung 6-13), welche in die Sichtweitenstufen gemäß MARZ 2018 gegliedert sind.

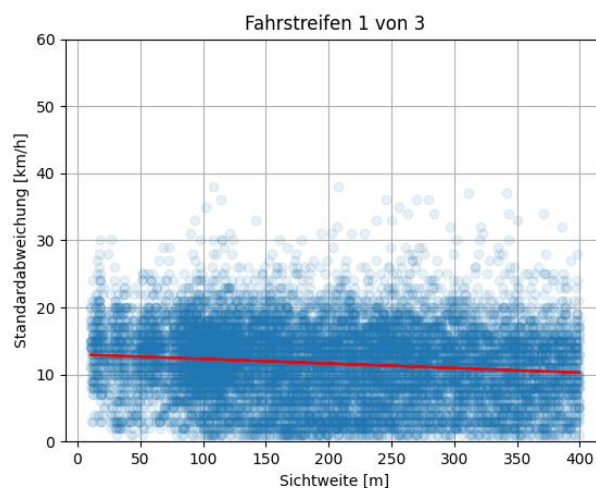


Abbildung 6-8 Verteilung der Standardabweichungen der Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten für den rechten Fahrstreifen (MQ-Gruppe 4 ohne SBA)

Wie die Parameter der Regressionsgeraden in Abbildung 6-6 zeigen, hat die Regressionsgerade für

den rechten Fahrstreifen eine leichte negative Steigung, die Standardabweichung der Geschwindigkeit steigt also bei abnehmender Sichtweite.

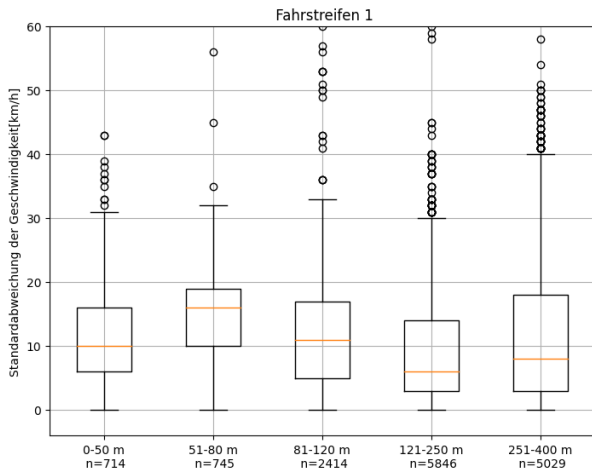


Abbildung 6-9 Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche SW- Bereiche nach MARZ 2018 für den rechten Fahrstreifen (MQ-Gruppe 4 ohne SBA)

Die Mediane der einzelnen Sichtweitenstufen weisen unterschiedliche Standardabweichungen der Geschwindigkeit auf, welche durch die Erzeugung der Regressionsgerade im Streudiagramm geglättet werden. Der Median bei kritischen Sichtweiten < 120 m liegt teilweise sogar höher als für weniger kritische Sichtweiten, allerdings mit deutlich weniger Ausreißern nach oben. Die höchste Standardabweichung der Geschwindigkeit befindet sich im SW-Bereich zwischen 51 und 80 m.

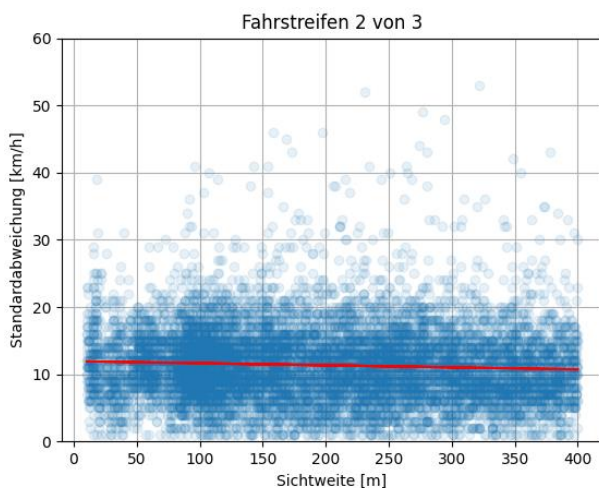


Abbildung 6-10 Verteilung der Standardabweichungen der Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten für den mittleren Fahrstreifen (MQ-Gruppe 4 ohne SBA)

Die Regressionsgerade für den mittleren Fahrstreifen verläuft im Vergleich zum rechten Fahrstreifen mit einer weniger starken Steigung, diese reicht jedoch aus, damit eine signifikante Veränderung der Steigung vorliegt und die Nullhypothese H_0 in diesem Fall abgelehnt werden kann.

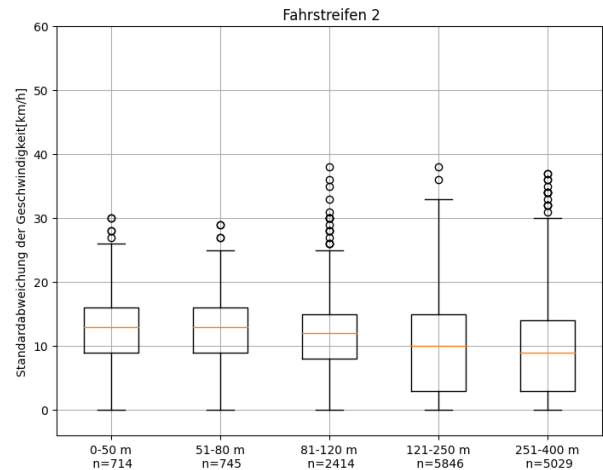


Abbildung 6-11 Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche SW- Bereiche nach MARZ 2018 für den mittleren Fahrstreifen (MQ-Gruppe 4 ohne SBA)

Wie beim rechten Fahrstreifen ist auch hier eine Steigerung der Standardabweichung der Geschwindigkeit bei geringeren Sichtweiten zu erkennen. Jedoch werden die Boxplots bei Sichtweiten < 120 m auf einem höheren Niveau der Standardabweichung schmaler.

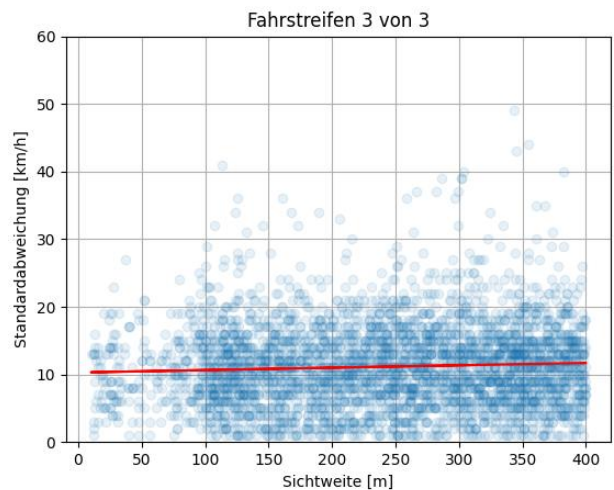


Abbildung 6-12 Verteilung der Standardabweichungen der Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten für den linken Fahrstreifen (MQ-Gruppe 4 ohne SBA)

Der linke Fahrstreifen weist im Gegensatz zu den anderen Fahrstreifen eine positive Steigung auf.

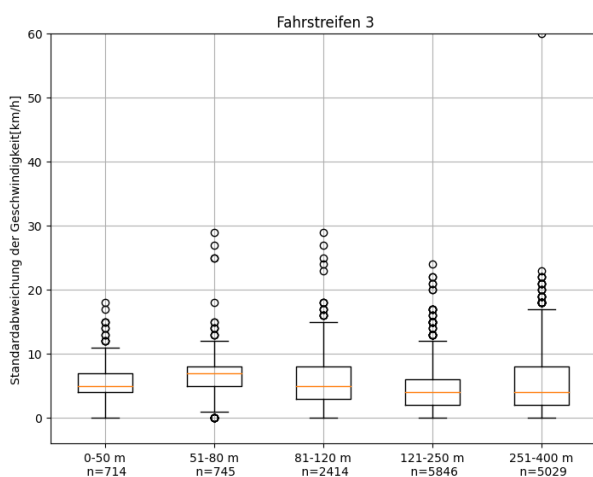


Abbildung 6-13 Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche SW-Bereiche nach MARZ 2018 für den linken Fahrstreifen (MQ-Gruppe 4 ohne SBA)

Die Standardabweichungen der einzelnen SW-Bereiche fallen für den linken Fahrstreifen generell geringer aus als für den rechten und mittleren Fahrstreifen, jedoch zeigt sich auch hier ein Höchstwert der Standardabweichung der Geschwindigkeit beim SW-Bereich zwischen 51 und 80 m.

Die lineare Regressionsanalyse sowie die Boxplots zeigen beim rechten und mittleren Fahrstreifen die Tendenz auf, dass bei abnehmender Sichtweite die Standardabweichung der Geschwindigkeit steigt. Durch die Abgrenzung einzelner Sichtweiten in Gliederungsstufen nach MARZ 2018 in Boxplots werden die statistischen Größen verdeutlicht. Dort zeigt sich bei der Gliederung in Sichtweitenstufen, dass mit abnehmender Sichtweite die Standardabweichung der Geschwindigkeit in der vorliegenden MQ-Gruppe zunimmt. Ein Grund dafür könnte in der falschen Einschätzung der Fahrer selbst in einer solchen nebligen Situation liegen. Durch die unterschiedlichen statistischen Ergebnisse kann die These 3-6, dass

„Die Varianz der Geschwindigkeit mit abnehmender Sichtweite zunimmt, da Verkehrsteilnehmer ihr Können stärker unter bzw. überschätzen“

weder angenommen noch verworfen werden. Darüber hinaus könnten an dieser Stelle auch weitere Einflüsse eine Rolle spielen, die nicht im direkten Zusammenhang zum Nebelereignis stehen bzw. mit den verfügbaren Mitteln (Daten, Datenaufbereitungen, Rekonstruktion der Ereignisse, ob weitere Einflüsse dazu beigetragen haben, etc.) nicht analysiert werden können.

Wirkungsthese 3-1a

Die Auswertung der These

„Bei gleicher Verkehrsstärke sinkt bei Nebel die Standardabweichung der Geschwindigkeit.“

erfolgt mit denselben analytischen Schritten wie der in Kapitel 3.2 erwähnten methodischen Herangehensweise. Diese Wirkungsthese untersucht, ob es für bestimmte Verkehrsstärkebereiche bei eingeschränkten Sichtverhältnissen unterschiedliche Standardabweichungen der Geschwindigkeit auf den einzelnen Fahrstreifen gibt. Dabei werden klare Sichtverhältnisse mit Nebel verglichen. Das Ziel ist die Untersuchung, welchen Einfluss Nebelereignisse auf den Verkehr hat.

Nach der Auswahl der MQ-Gruppen ohne SBA und dessen Plausibilisierung werden für die anschließende Datenbankabfrage die folgenden Filter angewendet:

- Nebel (Ereignisfall):
 - $0 < \text{Sichtweite} \leq 400 \text{ m}$
- Kein Nebel (Referenzfall):
 - $400 < \text{Sichtweite}$
- Fahrstreifenbezogene Standardabweichung der Geschwindigkeit $s(v) > 0 \text{ km/h}$
- Verkehrsstärke für die Darstellung in Heatmaps
- Verkehrsstärke, gruppiert in 500 Kfz/h-Einheiten für die statistische Auswertung

Dabei wird Nebel als Ereignis mit einer eingeschränkten Sichtweite $\leq 400 \text{ m}$ angesetzt, da ab diesem Wert die Umfeldsensoren gemäß MARZ 2018 die erste SW-Stufe an die Streckenstation übermitteln. Die Untergrenze von 0 m schließt an dieser Stelle fehlerhafte Werte aus. Darüber hinaus ist bei zweistreifigen Messquerschnitten die Auswertung problematisch, da durch die geringe Anzahl an Umfelddaten die Datengrundlage kleiner ausfällt als bei dreistreifigen Messquerschnitten. Für eine übersichtlichere statistische Auswertung werden nicht alle Verkehrsstärken einzeln ausgewertet, sondern Verkehrsstärkeklassen mit einer Spannweite von 500 Kfz/h gebildet.

Die statistische Auswertung erfolgt mit der Standardabweichung der Geschwindigkeit, welche das Streuungsmaß der Geschwindigkeitsdifferenzen

aufeinanderfolgender Fahrzeuge auf einem Fahrstreifen wiedergibt. Mit der These wird also angenommen, dass bei Nebel, unabhängig von der Verkehrsstärke, der Verkehrsfluss witterungsbedingt harmonisiert wird. Für die statistische Auswertung wird nach der vorangestellten Durchführung des Tests auf Varianzhomogenität die folgende Nullhypothese H_0 entgegen der Erwartung aufgestellt:

$$H_0: \sigma^2_{\text{Kein Nebel}} \leq \sigma^2_{\text{Nebel}}$$

Mit diesem Test gilt es demnach zu widerlegen, dass die Standardabweichung der Geschwindigkeit bei Nebelereignissen und bei gleicher Verkehrsstärke steigt. Die These wird daher im Anschluss nach vorangestelltem Test auf Normalverteilung mit dem F-Test überprüft.

Das Ergebnis des Tests für MQ-Gruppe 4 für dreistreifige Querschnitte ist in den Tabelle 6-10 bis Tabelle 6-12 aufgelistet.

Tabelle 6-10: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen für These 3-1a

Rechter Fahrstreifen										
Zwei-Stichproben F-Test	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]		2000 - 2500 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95									
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert $s(v)$	9,250	10,097	10,854	12,950	11,834	12,060	11,121	8,601	10,407	8,800
Varianz	30,251	38,338	20,752	26,647	14,142	21,515	10,374	15,158	9,093	11,074
Beobachtungen	561129	4405	469434	4688	274279	3023	120588	368	33078	35
Freiheitsgrade (df)	561128	4404	469433	4687	274278	3022	120587	367	33077	34
Shapiro p-Wert	0	1,21E-33	0	1,68E-44	0	1,10E-35	0	1,27E-24	2,02E-43	3,77E-01
Levene p-Wert	2,19E-49		3,85E-22		2,55E-74		3,41E-12		2,66E-01	
Prüfgröße (F)	1,267		1,284		1,521		1,461		1,218	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16		1,96E-08		1,79E-01	
Kritischer F-Wert	1,035		1,034		1,043		1,124		1,423	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein		nein		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen	

Tabelle 6-11: Statistische Auswertung für den mittleren Fahrstreifen für These 3-1a

Mittlerer Fahrstreifen										
Zwei-Stichproben F-Test	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]		2000 - 2500 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95									
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert $s(v)$	9,037	9,809	9,691	12,598	9,628	12,351	9,929	11,196	9,367	9,737
Varianz	37,111	43,043	19,903	21,608	14,096	14,324	12,688	12,602	10,390	7,773
Beobachtungen	485335	4312	462377	2576	329345	2988	40048	634	1512	19
Freiheitsgrade (df)	485334	4311	462376	2575	329344	2987	40047	633	1511	18
Shapiro p-Wert	0	0	0	4,49E-25	0	2,12E-19	0	4,90E-07	5,42E-21	0,743
Levene p-Wert	1,29E-21		5,49E-22		1,14E-08		3,22E-01		0,494	
Prüfgröße (F)	1,160		1,086		1,016		1,007		1,337	
p-Wert F-Test	9,75E-13		1,34E-03		0,267		0,458		0,237	
Kritischer F-Wert	1,036		1,046		1,043		1,100		1,882	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		ja		ja		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen		H₀ annehmen		H₀ annehmen	

Tabelle 6-12: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen für These 3-1a

Linker Fahrstreifen								
Zwei-Stichproben F-Test	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95							
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert $s(v)$	9,297	10,103	11,212	12,413	11,409	12,502	11,433	10,014
Varianz	34,756	44,912	18,659	22,334	18,797	19,522	20,079	21,520
Beobachtungen	516065	2078	425198	1067	134110	404	20840	73
Freiheitsgrade (df)	516064	2077	425197	1066	134109	403	20839	72
Shapiro p-Wert	0	6,27E-31	0	9,47E-19	0	4,07E-05	5,30E-35	0,696
Levene p-Wert	1,59E-15		1,10E-02		5,63E-01		4,56E-01	
Prüfgröße (F)	1,292		1,197		1,039		1,072	
p-Wert F-Test	1,11E-16		9,02E-06		2,85E-01		3,17E-01	
Kritischer F-Wert	1,052		1,072		1,119		1,288	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		ja		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen		H₀ annehmen	

Die statistische Auswertung für MQ-Gruppe 4 zeigt, dass bei steigender Verkehrsstärke die Nullhypothese H_0 nicht mehr widerlegt und damit die Wirkungsthese für hohe Verkehrsstärken nicht angenommen werden kann. Das ist beim rechten Fahrstreifen ab 2.000 Kfz/h und beim mittleren und linken ab 1.000 Kfz/h der Fall. Bei den untersuchten MQ-Gruppen in Anhang 6 wird die These bei dreistreifigen Messquerschnitten für dieselben Verkehrsstärkeklassen bestätigt. Die Wirkungsthese kann jedoch nicht für zweistreifige Messquerschnitte angenommen werden, da für sämtliche Verkehrsstärkeklassen die Nullhypothese H_0 nicht verworfen werden kann.

Die Annahme der These lässt sich auch graphisch in Abbildung 6-14 bis Abbildung 6-16 darstellen. Durch die Transparenz der Punkte werden überlagerte Werte durch eine intensivere Farbe dargestellt. Durch die vorsortierte Sichtweite in absteigender Reihenfolge lassen sich die Punkte mit niedrigerer Sichtweite im Vordergrund abbilden.

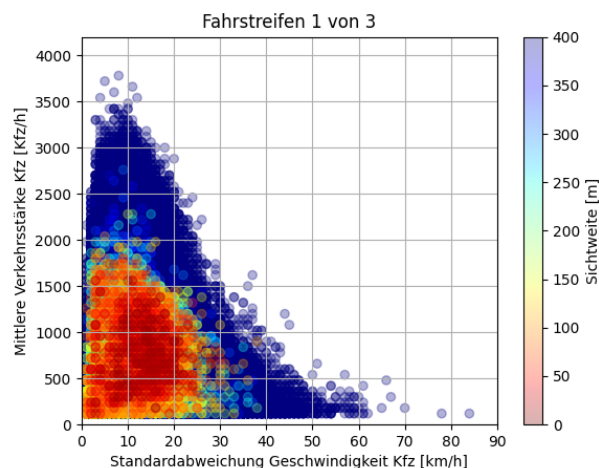


Abbildung 6-14 Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten für den rechten Fahrstreifen für MQ-Gruppe 4 ohne SBA

Die dunklen Punkte im Hintergrund spiegeln den Zusammenhang von Sichtweiten größer gleich 400 m und der Standardabweichung der Geschwindigkeit wider. Wie zu erwarten nimmt die Standardabweichung der Geschwindigkeit bei klaren Sichtverhältnissen und steigender Verkehrsstärke ab, da sich ab einem gewissen Punkt der Verkehr durch zunehmende Interaktionen zwischen den Verkehrsteilnehmern selbst beeinflusst. Bei abnehmender Sichtweite sinkt über alle Verkehrsstärken hinweg die Standardabweichung der Geschwindigkeit, auch die maximale Verkehrsstärke fällt deutlich geringer aus als im Referenzfall. Dabei scheint es auf die Standardabweichung der Geschwindigkeit keine Auswirkung zu haben, ob die Sichtweite unter

300 m oder 100 m liegt, da das Niveau der Geschwindigkeitsdiskrepanzen beider Sichtweitenbereiche nahezu deckungsgleich ist.

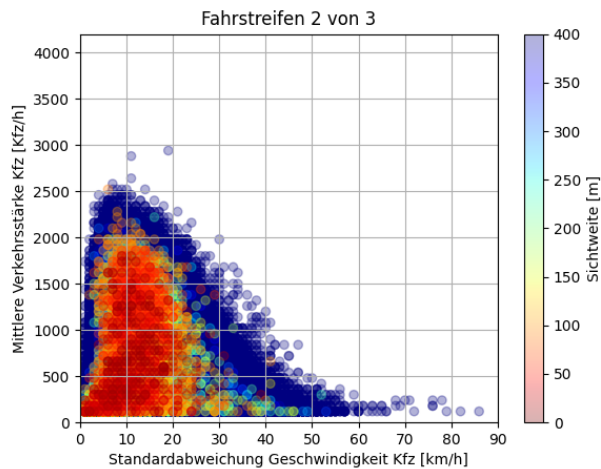


Abbildung 6-15 Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten für den mittleren Fahrstreifen für MQ-Gruppe 4 ohne SBA

Der mittlere Fahrstreifen zeigt im Vergleich zum rechten Fahrstreifen in Bezug auf den Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Standardabweichung der Geschwindigkeit bei klaren Sichtverhältnissen größer gleich 400 m das gleiche Verhalten, auch wenn die erreichte Verkehrsstärke selbst geringer ausfällt. Die Geschwindigkeitsdiskrepanzen nehmen ebenfalls wie beim rechten Fahrstreifen bei zunehmend schlechteren Sichtweiten ab. Darüber hinaus zeigt sich auch das Phänomen, dass das Niveau der Standardabweichung der Geschwindigkeit bei Sichtweitenbereichen unter 300 m und unter 100 m nahezu deckungsgleich bleibt.

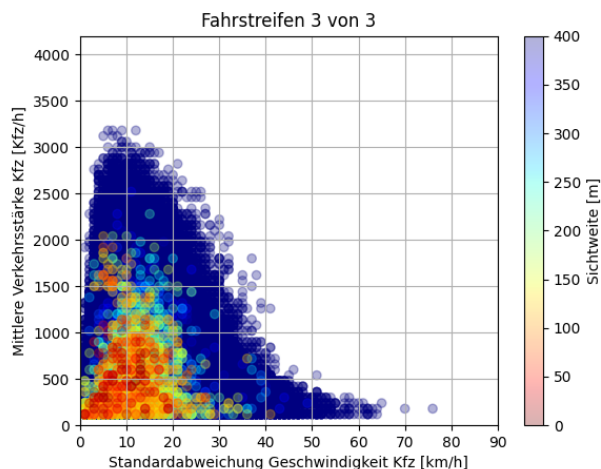


Abbildung 6-16 Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten für den linken Fahrstreifen für MQ-Gruppe 4 ohne SBA

Beim linken Fahrstreifen in MQ-Gruppe 4 ist ein Rückgang der Geschwindigkeitsunterschiede bei abnehmender Sichtweite zu erkennen, wobei im Vergleich zum rechten und mittleren Fahrstreifen sowie zu klaren Sichtverhältnissen bei Sichtweiten ≥ 400 m tendenziell weniger Fahrzeuge bei Nebel auf dem linken Fahrstreifen unterwegs sind.

Unter Berücksichtigung der hier untersuchten MQ-Gruppe 4 sowie der zusätzlich untersuchten MQ-Gruppen in Anhang 6 lässt sich die Wirkungsthese ausschließlich für hohe Verkehrsstärken ablehnen. Demnach kann die These, dass

„Bei gleicher Verkehrsstärke sinkt bei Nebel die Standardabweichung der Geschwindigkeit“

durch die Widerlegung der Nullhypothese H_0 für kleine Verkehrsstärken bis 1.000 Kfz/h angenommen werden. Demnach senkt sich beim Ausschluss hoher Verkehrsstärken (ab 1.000 Kfz/h) die Standardabweichung der Geschwindigkeit bei Nebel signifikant gegenüber dem Referenzfall.

6.2 Auswertung der Wirksamkeitsthese

Die Analyse der Wirksamkeit bezieht sich in der Regel auf den in Kapitel 3.2 und 3.3 genannten „Mit-Ohne-“ sowie den „Mit-Mit-Vergleich“, in dem die Wirksamkeit und Befolgung von bestimmten Schaltbildern von SBA untersucht werden soll. Es können also in der Regel nur jene Gruppen ausgewertet werden, in denen sowohl Standorte mit als auch ohne SBA vertreten sind. Die Vergleiche sind je nach These unterschiedlich und erfordern dementsprechend unterschiedliche Filtereinstellungen bei der Datenbankabfrage.

Wirksamkeitsthese 3-9a

Für die Auswertung der These

„Bei Nebel reduziert eine entsprechende Warnschaltung die Standardabweichung der Geschwindigkeit.“

werden wie bei den Wirkungsthese die folgenden methodischen Schritte durchgeführt:

1. Auswahl relevanter Daten
2. Plausibilisierung der Daten
3. Filterung der Daten
4. Statistische Auswertung der Daten

5. Interpretation der Ergebnisse

Im Zuge dieser These soll im Rahmen eines „Mit-Mit-Vergleichs“ untersucht werden, inwieweit eine nebelbedingte Warnschaltung die Standardabweichung der Geschwindigkeit der einzelnen Fahrstreifen reduziert und für eine Harmonisierung des Verkehrsflusses sorgt. Die Auswahl der relevanten Daten setzt sich in diesem Fall getrennt nach beeinflussten und unbeeinflussten Bereichen sowie der Anzahl der Fahrstreifen zusammen. Hinzu kommt die Anforderung, dass die Wirksamkeit ausschließlich bei „freien“ Verkehrszuständen untersucht werden kann, damit, wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben, verkehrsbedingte Schaltungen ausgeschlossen werden können und reine witterungsbedingte Schaltungen vorliegen. Zudem soll der Verkehr nicht durch zunehmende Interaktionen zwischen den Verkehrsteilnehmern aufgrund der aktuellen Verkehrsdichte zusätzlich beeinflusst sein.

Mit den thesebedingten Randbedingungen kann mit der Datenbankabfrage die statistische Auswertung vorbereitet werden. Dabei werden die folgenden Parameter für die Abfrage gefiltert:

- $120 \text{ m} < \text{Sichtweite} \leq 400 \text{ m}$
- Fahrstreifenbezogene Geschwindigkeit $v > 0 \text{ km/h}$
- Vergleichsfall:
 - SBA mit Warnschaltung (Ereignisfall H_{Ereignis}): Geschaltete Geschwindigkeit = 100 km/h und B-Zeichen zeigt Gefahrenwarnung
 - SBA ohne Warnschaltung (Referenzfall H_{Ref}): Geschaltete Geschwindigkeit = 120 km/h und B-Zeichen ist aus oder zeigt Aufhebung sämtlicher Beschränkungen

- „freier“ Verkehrszustand

Der Vergleichsfall bezieht sich dabei auf die in der MARZ 2018 definierten Schaltungen bei unterschiedlichen SW-Stufen, dabei wird ab SW-Stufe 2 zusätzlich zur Geschwindigkeitsbegrenzung ($\leq 100 \text{ km/h}$) ein Gefahrenzeichen (VZ 101) angezeigt. Die Filterung nach der Sichtweite dient in diesem Fall als zusätzliche Plausibilisierung, dass bei eingeschaltetem Gefahrenzeichen tatsächlich auch eine Sichtweitereinschränkung vorliegt. In diesem Fall wird SW-Stufe 1 mit SW-Stufe 2 verglichen, um sicher zu gehen, dass nicht der Nebel den Verkehr hauptsächlich beeinflusst, sondern die Schaltung der SBA. Daher wird hier der Grenzwert der Sichtweite auf 120 m festgelegt. Die Spannweite der Sichtweite darf auch nicht zu gering sein, damit der Stichprobenumfang nicht verschwindet.

Die statistische Auswertung erfolgt mit der Standardabweichung der Geschwindigkeit und wird nach der Prüfung auf Normalverteilung mit der Nullhypothese H_0 umgekehrt zur Annahme der These zu

$$H_0: \sigma^2_{\text{Nebel, ohne Warnschaltung}} \leq \sigma^2_{\text{Nebel, mit Warnschaltung}}$$

definiert. Demnach gilt es die Nullhypothese zu widerlegen, dass bei Nebel eine entsprechende Warnschaltung die Standardabweichung der Geschwindigkeit erhöht.

In Tabelle 6-13 sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung für die MQ-Gruppe 9 aufgelistet. Im Gegensatz zu den anderen Thesen gibt es für den Referenzfall für MQ-Gruppe 4 keine Ergebnisse, da für diese Gruppe keine ausreichende Stichprobe vorliegt, weshalb an dieser Stelle eine andere MQ-Gruppe entlang der A4 herangezogen wird.

Tabelle 6-13: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 3-9a für MQ-Gruppe 9

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen		mittlerer Fahrstreifen		linker Fahrstreifen	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	9,679	8,412	9,192	9,574	8,362	9,432
Varianz	27,419	19,164	20,103	24,502	18,927	35,331
Beobachtungen	268	1312	193	1017	69	387
Freiheitsgrade (df)	267	1311	192	1016	68	386
Shapiro p-Wert	4,842E-09	1,867E-17	3,066E-04	3,230E-18	1,188E-03	9,131E-14
Levene p-Wert	5,445E-04		2,369E-01		8,696E-03	
Prüfgröße (F)	1,431		1,219		1,867	
p-Wert F-Test	4,039E-05		4,333E-02		1,069E-03	
Kritischer F-Wert	1,164		1,209		1,383	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Die statistische Auswertung für MQ-Gruppe 9 ergibt, dass das Einschalten einer Warnschaltung auf allen Fahrstreifen zu einer signifikant niedrigeren Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit führt. Auch die F-Tests der MQ-Gruppen in Anhang 6 zeigen, dass größtenteils signifikante Abweichungen bei eingeschaltetem Gefahrenzeichen gegenüber dem „Ohne-Fall“ vorliegen.

Dieses Ergebnis lässt sich auch graphisch in Abbildung 6-17 für MQ-Gruppe 9 nachvollziehen.

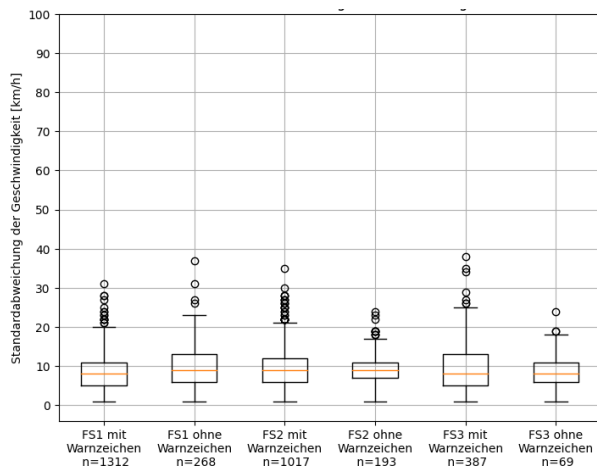


Abbildung 6-17: Boxplots der Standardabweichungen der Geschwindigkeit mit Warnschaltung und ohne Warnschaltung je Fahrstreifen für MQ-Gruppe 9

Für MQ-Gruppe 9 ist die Standardabweichung der Geschwindigkeit bei sämtlichen Fahrstreifen bei eingeschaltetem Gefahrenzeichen kleiner gegenüber dem Referenzfall. Die Anzahl der Ausreißer ist beim Mit-Fall höher als bei ausgeschaltetem Gefahrenzeichen.

Mit der Prüfung des F-Tests für alle MQ-Gruppen, ergibt sich mehrheitlich ein geringerer p-Wert als das 5 % Signifikanzniveau bzw. die Prüfgröße F_{Pr} ist größer als der kritische F-Wert F_{Kr} . Daher resultiert durch die Verwerfung der meisten Nullhypothesen H_0 bei allen Fahrstreifen dazu, dass die aufgestellte Wirksamkeitsthese T3-9a

„Bei Nebel reduziert eine entsprechende Warnschaltung die Standardabweichung der Geschwindigkeit.“

für die verkehrlichen Randbedingungen zutrifft. Die Stichprobe „Gefahrenwarnung bei Nebel“ unterscheidet sich demnach signifikant vom Referenzfall im Hinblick auf die Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit.

Die Wirksamkeitsthese T3-8

„Die Verkehrsteilnehmer passen bei einer nebelbedingten Geschwindigkeitsbegrenzung (ggf. mit Zusatzzeichen) eher ihre Geschwindigkeit an, als bei Nebel ohne SBA.“

lässt sich mit der Wirksamkeitsthese T3-9a zusammenfassen, da die methodische Herangehensweise nahezu dieselbe ist. In diesem Fall wird jedoch ein „Mit-Ohne-Vergleich“ durchgeführt. An dieser Stelle wird die mittlere gefahrene Geschwindigkeit statt der zuvor verwendeten Standardabweichung für die Auswertung herangezogen. Mit der mittleren gefahrenen Geschwindigkeit ist es möglich, die Befolgung von witterungsbedingten Schaltungen zu untersuchen und das Fahrverhalten mit nichtbeeinflussten Querschnitten zu vergleichen. Dadurch ändern sich jedoch einige Parameter für

die Auswertung, wodurch die Datenbankabfrage mit folgenden Filtern spezifiziert werden muss:

- $0 \text{ m} < \text{Sichtweite} \leq 400 \text{ m}$
- Fahrstreifenbezogene Geschwindigkeit $v > 0 \text{ km/h}$
- Vergleichsfall:
 - Mit SBA (Ereignisfall): Geschaltete, nebelbedingte Geschwindigkeit $\leq 120 \text{ km/h}$ und B-Zeichen zeigt ggf. Gefahrenwarnung (ab SW-Stufe 2)
 - Ohne SBA (Referenzfall): Gliederung der Sichtweiten in SW-Stufen nach MARZ 2018
- „freier“ Verkehrszustand

Die statistische Auswertung der Wirksamkeitsthese erfolgt im Hinblick auf die mittlere lokale Geschwindigkeit v für den Vergleich zwischen beeinflussten und unbeeinflussten Streckenabschnitten. Dabei werden Messquerschnitte ohne SBA gemäß MARZ

2018 nach Sichtweitenstufen gegliedert und beeinflusste Streckenabschnitte nach der tatsächlich geschalteten Nebelschaltung. Demnach ergibt sich umgekehrt zur Annahme der These die Nullhypothese H_0 zu

$$H_0: \sigma^2_{\text{Nebel, ohne SBA}} \leq \sigma^2_{\text{Nebel, mit SBA}}$$

Bei einer Verwerfung dieser Nullhypothese H_0 kann die aufgestellte Wirksamkeitsthese als zutreffend angesehen werden. Es gilt also zu widerlegen, dass die mittlere Geschwindigkeit bei Nebelereignissen in unbeeinflussten Bereichen niedriger ist als in beeinflussten Streckenabschnitten mit entsprechender Schaltung (ggf. mit Zusatzzeichen).

Die statistische Prüfung der Wirksamkeitsthese erfolgt wie in der Untersuchung von These 3-9a mit dem vorangestellten Test auf Normalverteilung und dem anschließenden F-Test.

Die Ergebnisse der statistischen Tests für MQ-Gruppe 4 ist in Tabelle 6-14 bis Tabelle 6-16 aufgelistet.

Tabelle 6-14: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen für These 3-8

Rechter Fahrstreifen						
Zwei-Stichproben F-Test	Sichtweitenstufe 1		Sichtweitenstufe 2		Sichtweitenstufe 3	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v	92,7	92,7	96,3	92,3	104,3	88,5
Varianz	226,432	21,067	216,814	52,879	219,365	39,172
Beobachtungen	4642	79	5381	859	2285	424
Freiheitsgrade (df)	4641	78	5380	858	2284	423
Shapiro p-Wert	7,24E-11	1,49E-01	5,55E-17	9,60E-15	2,19E-24	9,56E-15
Levene p-Wert	6,07E-14		1,69E-94		8,36E-52	
Prüfgröße (F)	10,748		4,100		5,600	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16	
Kritischer F-Wert	1,330		1,091		1,134	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 6-15: Statistische Auswertung für den mittleren Fahrstreifen für These 3-8

Mittlerer Fahrstreifen						
Zwei-Stichproben F-Test	Sichtweitenstufe 1		Sichtweitenstufe 2		Sichtweitenstufe 3	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v	111,5	116,5	115,6	113,8	123,3	105,2
Varianz	420,145	38,504	395,103	137,707	321,554	88,043
Beobachtungen	4133	79	4795	807	2161	411
Freiheitsgrade (df)	4132	78	4794	806	2160	410
Shapiro p-Wert	5,43E-41	9,89E-01	3,91E-43	1,46E-10	8,47E-32	1,72E-12
Levene p-Wert	2,23E-09		1,42E-25		2,66E-20	
Prüfgröße (F)	10,912		2,869		3,652	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16	
Kritischer F-Wert	1,330		1,094		1,137	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 6-16: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen für These 3-8

Linker Fahrstreifen						
Zwei-Stichproben F-Test	Sichtweitenstufe 1		Sichtweitenstufe 2		Sichtweitenstufe 3	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v	122,3	133,9	123,1	131,8	123,5	119,8
Varianz	523,768	76,022	633,573	212,764	662,399	89,403
Beobachtungen	2278	79	1912	440	460	290
Freiheitsgrade (df)	2277	78	1911	439	459	289
Shapiro p-Wert	3,34E-12	1,11E-02	2,30E-13	1,18E-09	2,21E-03	2,20E-09
Levene p-Wert	1,47E-16		1,92E-48		4,91E-47	
Prüfgröße (F)	6,890		2,978		7,409	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16	
Kritischer F-Wert	1,332		1,134		1,193	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Die Nullhypothese H₀ kann im Hinblick auf die statistische Auswertung von MQ-Gruppe 4 vollständig für alle vorhandenen Fahrstreifen und SW-Stufen abgelehnt und damit die Wirksamkeitsthese angenommen werden. Auch MQ-Gruppe 7 aus Anhang 6 kann bis auf zwei einzelne Fälle die signifikanten Unterschiede der Verteilungen der mittleren Geschwindigkeiten verifizieren.

Eine zusätzliche optische Darstellung zur weiteren Interpretation der statistischen Ergebnisse von MQ-Gruppe 4 lässt sich im Folgenden mit Boxplots je Fahrstreifen mit unterschiedlichen (bei unbeeinflussten Streckenabschnitten theoretisch geschalteten) Nebel-Schaltstufen darstellen.

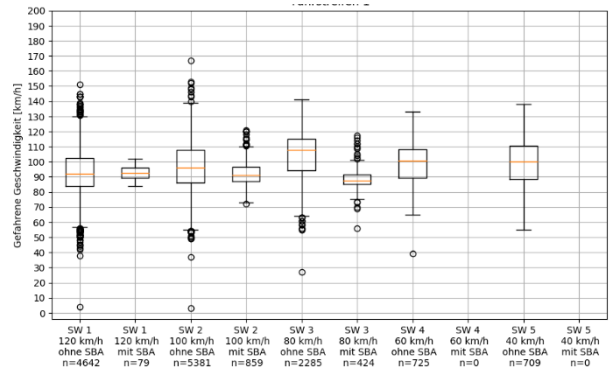


Abbildung 6-18: Boxplots der mittleren Geschwindigkeit für unterschiedliche SW-Stufen nach MARZ 2018 für den rechten Fahrstreifen für MQ-Gruppe 4

In Abbildung 6-18 zeichnet sich für den rechten Fahrstreifen bei den beeinflussten Streckenabschnitten von MQ-Gruppe 4 ein niedrigeres Geschwindigkeitsniveau bei SW-Stufen 2 und 3 gegenüber den unbeeinflussten Querschnitten ab. Bei SW-Stufe 1 bleibt das Niveau im Vergleich zum unbeeinflussten Verkehr nahezu identisch. Bis auf wenige Ausreißer liegt der größte Anteil der mittleren Geschwindigkeiten im Falle von SW-Stufe 1 unter der vorgegebenen Schaltung von 120 km/h, was auch mit dem Schwerverkehr auf dem rechten Fahrstreifen zusammenhängt. Durch den Schwerverkehr bedingt bleiben die mittleren Geschwindigkeiten beim Fall mit SBA über sämtliche SW-Stufen hinweg auf einem ähnlichen Niveau. Im Hinblick auf SW-Stufe 2 lässt sich gegenüber von SW-Stufe 1 eine leicht höhere gefahrene Geschwindigkeit bei unbeeinflussten Streckenabschnitten beobachten. Insgesamt sind die Boxplots bei den beeinflussten Querschnitten deutlich schmaler im Vergleich zu den Boxplots des unbeeinflussten Referenzfalls, das heißt die Varianz der gefahrenen Geschwindigkeiten ist geringer und der Verkehrsfluss damit harmonischer, was sich auf die aktive SBA zurückführen lässt.

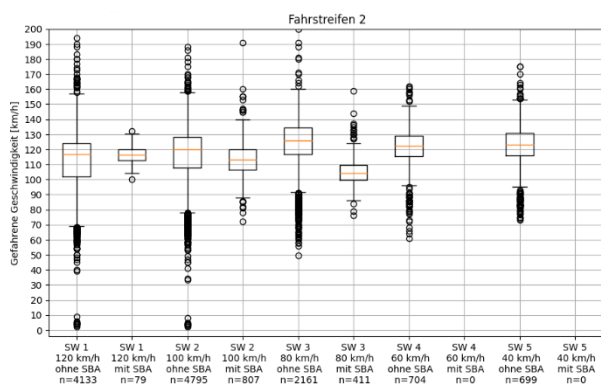


Abbildung 6-19: Boxplots der mittleren Geschwindigkeit für unterschiedliche SW-Stufen nach MARZ 2018 für den mittleren Fahrstreifen für MQ-Gruppe 4

Wie beim rechten Fahrstreifen weist Abbildung 6-19 einen ähnlichen Verlauf auf, wenn auch das Geschwindigkeitsniveau bei sämtlichen SW-Stufen etwas höher liegt. Die Boxplots der beeinflussten Messquerschnitte werden auch hier schmaler im Vergleich zum Referenzfall ohne SBA. Die mittleren Geschwindigkeiten (vor allem bei SW 3) sind ebenfalls geringer im Vergleich zum unbeeinflussten Verkehr, auch wenn das Geschwindigkeitsniveau des beeinflussten Verkehrs noch über der angezeigten Geschwindigkeit liegt.

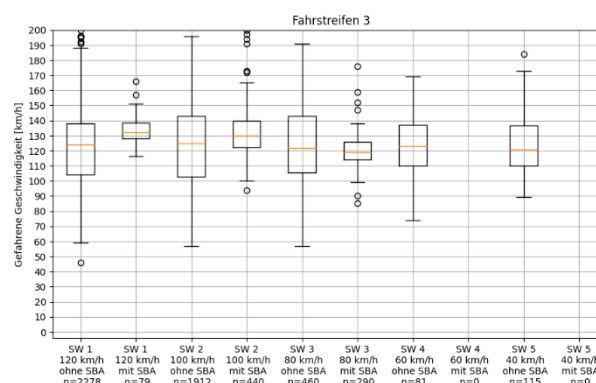


Abbildung 6-20: Boxplots der mittleren Geschwindigkeit für unterschiedliche SW-Stufen nach MARZ 2018 für den linken Fahrstreifen für MQ-Gruppe 4

Für den linken Fahrstreifen zeigt Abbildung 6-20, dass das Geschwindigkeitsniveau bei sämtlichen SW-Stufen im Vergleich zu den anderen Fahrstreifen höher liegt, dennoch schmälern sich wie bei den anderen Fahrstreifen die Boxplots der beeinflussten Streckenabschnitte gegenüber dem unbeeinflussten Verkehr. Wie beim mittleren Fahrstreifen werden die geschalteten Geschwindigkeiten wenig befolgt, dennoch werden je nach SW-Stufe die Geschwindigkeiten gegenüber dem unbeeinflussten Verkehr deutlich reduziert, was die Wirksamkeit der SBA verdeutlicht.

Die Boxplots zeigen für alle Fahrstreifen ein ähnliches Muster auf mit dem Unterschied, dass sich das mittlere Geschwindigkeitsniveau vom rechten Fahrstreifen hin zum linken immer weiter erhöht. Die gefahrenen Geschwindigkeiten für SW-Stufe 2 liegen höher als die mittleren Geschwindigkeiten bei SW-Stufe 1 beim unbeeinflussten Verkehr.

Der Grund für die schmaleren Boxplots und damit die harmonischere Verteilung der mittleren gefahrenen Geschwindigkeiten lässt sich vor allem auf die aktive SBA zurückführen. Die Befolgung der angezeigten Geschwindigkeiten bei geringer Sichtweite ist allerdings insbesondere auf den Überholfahrstreifen gering. Dennoch kann die Wirksamkeitstheorie, dass

„Die Verkehrsteilnehmer bei einer nebelbedingten Geschwindigkeitsbegrenzung (ggf. mit Zusatzzeichen) eher ihre Geschwindigkeit anpassen, als bei Nebel ohne SBA.“

angenommen werden, da bei unterschiedlichen SW-Stufen der Erwartungswert des mittleren Geschwindigkeitsniveaus des beeinflussten Verkehrs

häufig signifikant geringer ist als beim unbeeinflussten.

Wirksamkeitsthese 1-9a

Die Untersuchung der These

„Bei Nässe reduziert eine entsprechende Warnschaltung die Standardabweichung der Geschwindigkeit.“

wird nach vorangestellter Auswahl und Plausibilisierung der relevanten Daten im Hinblick auf die These-Definition auf die folgenden Parameter in der Datenbank gefiltert:

- $1,2 \leq \text{Niederschlagsintensität} < 5 \text{ mm/h}$
- Fahrstreifenbezogene Geschwindigkeit $v > 0 \text{ km/h}$
- Vergleichsfall:
 - SBA mit Warnschaltung (Ereignisfall): Geschaltete Geschwindigkeit = 100 km/h und B-Zeichen zeigt Schleudergefahr
 - SBA ohne Warnschaltung (Referenzfall): Geschaltete Geschwindigkeit = 120 km/h und B-Zeichen ist aus oder zeigt Aufhebung sämtlicher Beschränkungen

- „freier“ Verkehrszustand

Die Untersuchung bezieht sich hier auf das Messkonzept des „Mit-Mit-Vergleichs“. Die Fallunterscheidung bezieht sich dabei auf die im MARZ 2018 definierten Schaltungen bei unterschiedlichen Nässestufen. Dabei wird ab Nässestufe 2 zusätzlich zur Geschwindigkeitsbegrenzung ($\leq 100 \text{ km/h}$) ein Gefahrenzeichen (Schleudergefahr, VZ 114) eingeschaltet. Die Filterung nach der Niederschlagsintensität dient in diesem Fall als zusätzliche Plausibilisierung, dass bei eingeschaltetem Warnzeichen tatsächlich auch eine Einschränkung durch eine nasse Fahrbahn vorliegt.

Mit der Standardabweichung der Geschwindigkeit erfolgt nach der Prüfung auf Normalverteilung die statistische Auswertung. Dabei wird die Nullhypothese H_0 umgekehrt zu der Annahme der These zu

$$H_0: \sigma^2_{\text{Nässe, ohne Warnschaltung}} \leq \sigma^2_{\text{Nässe, mit Warnschaltung}}$$

definiert. Die zu widerlegende Nullhypothese H_0 behauptet, dass bei Nässe eine entsprechende Warnschaltung die Standardabweichung der Geschwindigkeit erhöht.

In Tabelle 6-17 sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung für die MQ-Gruppe 4 aufgelistet.

Tabelle 6-17: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 1-9a

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen		mittlerer Fahrstreifen		linker Fahrstreifen	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert $s(v)$	9,390	7,995	11,096	8,774	11,164	8,492
Varianz	16,160	12,006	17,922	13,488	25,153	18,206
Beobachtungen	77	9292	73	8486	61	5743
Freiheitsgrade (df)	76	9291	72	8485	60	5742
Shapiro p-Wert	0,019	1,54E-44	0,000	0,00E+00	0,003	5,61E-45
Levene p-Wert	5,84E-02		4,26E-01		7,88E-02	
Prüfgröße (F)	1,346		1,329		1,382	
p-Wert F-Test	0,024		3,32E-02		2,75E-02	
Kritischer F-Wert	1,281		1,289		1,318	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ annehmen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Für MQ-Gruppe 4 ergibt die statistische Auswertung, dass das Einschalten einer Warnschaltung lediglich auf dem mittleren und linken Fahrstreifen zu einer signifikant niedrigeren Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit führt als bei einer Geschwindigkeitsbegrenzung ohne Warnschaltung. Der Mittelwert des rechten Fahrstreifens

zeigt, dass die Abweichung des Ereignisfalls gegenüber dem des Referenzfalls auch niedriger ist, jedoch ist diese Abweichung nicht signifikant. Offensichtlich trägt der Schwerverkehr auf dem rechten Fahrstreifen zu einer entsprechend stabilen Standardabweichung der Geschwindigkeit bei. Auch die F-Tests der MQ-Gruppen in Anhang 6 zeigen, dass

größtenteils signifikante Abweichungen bei eingeschaltetem Warnzeichen gegenüber dem ohne Fall vorliegen und durch die Verwerfung der Nullhypothese H_0 für eine Annahme der Wirksamkeitsthese sprechen.

Dieses Ergebnis lässt sich auch graphisch in Abbildung 6-21 für MQ-Gruppe 4 nachvollziehen.

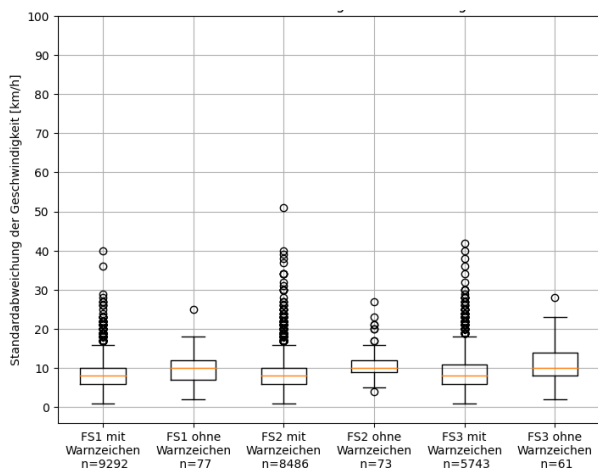


Abbildung 6-21: Boxplots der Standardabweichungen der Geschwindigkeit mit Warnschaltung und ohne Warnschaltung je Fahrstreifen für MQ-Gruppe 4

Beim Vergleich zwischen dem zusätzlich zur Geschwindigkeitsbegrenzung geschaltetem Warnzeichen und einer reinen Geschwindigkeitsbegrenzung ohne Gefahrenzeichen lassen sich Unterschiede der Standardabweichungen der Geschwindigkeit je Fahrstreifen erkennen. Bei sämtlichen Fahrstreifen ist die Standardabweichung der Geschwindigkeit kleiner, auch wenn sie in diesem Fall bei MQ-Gruppe 4 für den rechten Fahrstreifen nicht signifikant ist. Die Anzahl der Ausreißer ist beim Mit-Fall höher als bei ausgeschaltetem Gefahrenzeichen. Die höchste Diskrepanz der Standardabweichung lässt sich beim linken Fahrstreifen feststellen.

Mit der Prüfung des F-Tests für alle MQ-Gruppen, ergibt sich mehrheitlich ein geringerer p-Wert als das definierte 5 % Signifikanzniveau bzw. die Prüfgröße F_{Pr} ist größer als der kritische F-Wert F_{Kr} . Daher resultiert durch die Verwerfung der meisten Nullhypothesen H_0 bei allen Fahrstreifen dazu, dass die aufgestellte Wirksamkeitsthese T1-9a

„Bei Nässe reduziert eine entsprechende Warnschaltung die Standardabweichung der Geschwindigkeit.“

für die verkehrlichen Randbedingungen zutrifft. Die Verteilung der Stichprobe „Warnschaltung bei Nässe“ unterscheidet sich demnach signifikant von der Verteilung des Referenzfalls im Hinblick auf die Standardabweichung der Geschwindigkeit.

Wirksamkeitsthese T1-13

„Bei Niederschlagsereignissen und einer gleichzeitigen Geschwindigkeitsschaltung reduziert sich die gefahrene, mittlere Geschwindigkeit stärker, als ohne SBA.“

Kann als Ergänzung zur betrachteten Wirksamkeitsthese T1-9a herangezogen werden. Die methodische Herangehensweise ist dieselbe, jedoch wird die mittlere gefahrene Geschwindigkeit anstatt der Standardabweichung der Geschwindigkeit für die Auswertung verwendet und die Auswertung erfolgt über einen „Mit-Ohne-Vergleich“. Mit der mittleren gefahrenen Geschwindigkeit ist es möglich, die Befolgung von witterungsbedingten Schaltungen zu untersuchen und mit dem Fahrverhalten an nicht beeinflussten Querschnitten zu vergleichen. Dadurch ändern sich jedoch einige Parameter für die Auswertung, wodurch die Datenbankabfrage mit folgenden Filtern spezifiziert werden muss:

- $1,2 \leq$ Niederschlagsintensität < 400 mm/h
- Fahrstreifenbezogene Geschwindigkeit $v > 0$ km/h
- Vergleichsfall:
 - Mit SBA (Ereignisfall): Geschaltete, nässebedingte Geschwindigkeit ≤ 120 km/h und B-Zeichen zeigt ggf. Schleudergefahr (ab Nässestufe 2)
 - Ohne SBA (Referenzfall): Gliederung der Niederschlagsparameter in Nässestufen nach MARZ 2018
- „freier“ Verkehrszustand

Damit kann untersucht werden, inwieweit sich eine niederschlagsbedingt geschaltete Geschwindigkeitsbegrenzung auf die mittlere Geschwindigkeit des beeinflussten Verkehrs auswirkt und ob dabei das Geschwindigkeitsniveau stärker sinkt als bei unbeeinflussten Streckenabschnitten bei denselben Witterungsbedingungen.

Die statistische Auswertung der Wirksamkeitsthese erfolgt im Hinblick auf die mittlere lokale Geschwindigkeit v für den Vergleich zwischen beeinflussten und unbeeinflussten Streckenabschnitten. Dabei werden Messquerschnitte ohne SBA gemäß MARZ 2018 in Abhängigkeit der vorhandenen Nässeparameter NI und WFD in Nässestufen gegliedert und beeinflusste Streckenabschnitte nach der tatsächlich geschalteten Nässeschaltung. Die Nullhypothese H_0 wird für die statistische Auswertung umgekehrt zur These zu

$$H_0: \sigma^2_{\text{Nässe, ohne SBA}} \leq \sigma^2_{\text{Nässe, mit SBA}}$$

angenommen. Die zu widerlegende Nullhypothese H_0 behauptet demnach, dass die mittlere gefahrene

Tabelle 6-18: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen für These 1-13

Rechter Fahrstreifen						
Zwei-Stichproben F-Test	Nässestufe 1		Nässestufe 2		Nässestufe 3	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v	87,3	92,0	85,7	90,1	86,9	81,1
Varianz	266,800	67,978	233,638	62,886	252,775	77,463
Beobachtungen	48129	78	24315	9233	3100	362
Freiheitsgrade (df)	48128	77	24314	9232	3099	361
Shapiro p-Wert	2,39E-35	3,77E-05	1,09E-27	8,56E-34	2,78E-12	3,34E-07
Levene p-Wert	1,13E-10		0,00E+00		4,62E-32	
Prüfgröße (F)	3,925		3,715		3,263	
p-Wert F-Test	3,43E-12		1,11E-16		1,11E-16	
Kritischer F-Wert	1,330		1,029		1,142	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 6-19: Statistische Auswertung für den mittleren Fahrstreifen für These 1-13

Mittlerer Fahrstreifen						
Zwei-Stichproben F-Test	Nässestufe 1		Nässestufe 2		Nässestufe 3	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v	101,6	110,7	99,9	106,0	102,1	94,7
Varianz	460,229	68,959	397,198	85,568	464,024	157,790
Beobachtungen	44236	76	22919	8823	2891	332
Freiheitsgrade (df)	44235	75	22918	8822	2890	331
Shapiro p-Wert	0	6,99E-01	0	1,15E-41	1,89E-24	9,90E-08
Levene p-Wert	6,88E-14		0,000		6,97E-34	
Prüfgröße (F)	6,674		4,642		2,941	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16	
Kritischer F-Wert	1,335		1,030		1,149	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Geschwindigkeit in SBA-beeinflussten Streckenabschnitten bei Niederschlagsereignissen bei einer geschalteten Geschwindigkeitsbegrenzung höher ist als bei unbeeinflussten Abschnitten.

Die statistische Prüfung der Wirksamkeitsthese erfolgt wie in der Untersuchung von These 1-9a mit dem vorangestellten Test auf Normalverteilung und dem anschließenden F-Test auf Varianzhomogenität.

Die Ergebnisse der statistischen Tests für MQ-Gruppe 4 ist in Tabelle 6-18 bis Tabelle 6-20 aufgelistet.

Tabelle 6-20: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen für These 1-13

Linker Fahrstreifen						
Zwei-Stichproben F-Test	Nässestufe 1		Nässestufe 2		Nässestufe 3	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert ν	115,4	125,7	113,2	119,4	116,9	108,3
Varianz	495,751453	156,976188	425,667137	125,015095	647,938257	156,224092
Beobachtungen	36797	67	19440	6655	2490	208
Freiheitsgrade (df)	36796	66	19439	6654	2489	207
Shapiro p-Wert	6,20E-42	3,01E-04	6,18E-41	5,06E-42	3,63E-24	3,35E-07
Levene p-Wert	3,47E-08		0		1,17E-26	
Prüfgröße (F)	3,158		3,405		4,147	
p-Wert F-Test	2,07E-08		1,11E-16		1,11E-16	
Kritischer F-Wert	1,363		1,034		1,191	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Die statistische Auswertung von MQ-Gruppe 4 zeigt, dass die Nullhypothese H_0 im Hinblick auf die statistische Auswertung vollständig für alle vorhandenen Fahrstreifen und Nässestufen abgelehnt und damit die Wirksamkeitsthese angenommen werden kann. Auch die zusätzlichen MQ-Gruppen aus Anhang 6 können ausnahmslos die signifikanten Unterschiede der Verteilungen der mittleren Geschwindigkeiten verifizieren.

Für eine optische Darstellung der Ergebnisse von MQ-Gruppe 4 werden im folgenden Boxplots verwendet, um getrennt die statistischen Größen nach (bei unbeeinflussten Streckenabschnitten theoretisch) geschalteter Nässestufe zwischen den zu untersuchenden Fällen übersichtlich darzustellen.

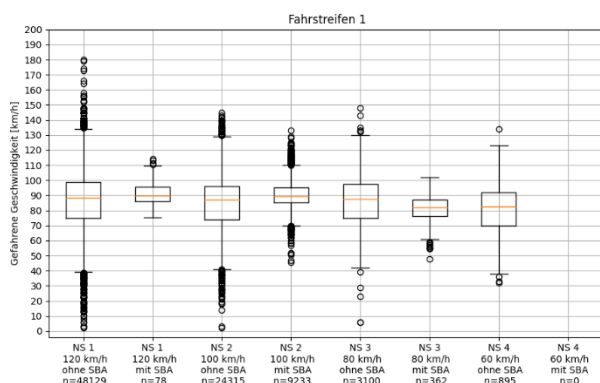


Abbildung 6-22: Boxplots der mittleren Geschwindigkeit für unterschiedliche niederschlagsbasierte Geschwindigkeitsschaltungen nach MARZ 2018 für den rechten Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 4

Die Boxplots in Abbildung 6-22 zeigen, dass bei geschalteter, nässebedingter Schaltung im beeinflussten Verkehr die mittlere Geschwindigkeit deutlich weniger schwankt als im unbeeinflussten Verkehr. Bedingt durch den Schwerverkehrsanteil auf dem rechten Fahrstreifen liegt das Geschwindigkeitsniveau bei Nässestufe 1 ($v_{zul} = 120$ km/h) und 2 ($v_{zul} = 100$ km/h) niedriger als die angezeigte Geschwindigkeitsbegrenzung. Die gefahrenen Geschwindigkeiten bei Nässestufe 3 ($v_{zul} = 80$ km/h) liegen sowohl beim beeinflussten wie auch beim unbeeinflussten Verkehr durchschnittlich bei ca. 80 km/h, wobei die Geschwindigkeiten beim unbeeinflussten deutlich stärker schwanken.

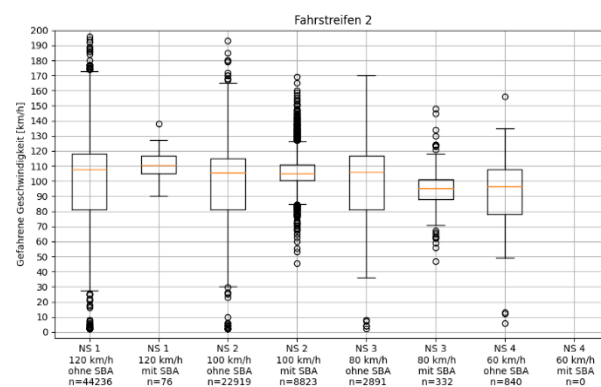


Abbildung 6-23: Boxplots der mittleren Geschwindigkeit für unterschiedliche niederschlagsbasierte Geschwindigkeitsschaltungen nach MARZ 2018 für den mittleren Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 4

Wie beim rechten Fahrstreifen weist Abbildung 6-23 einen ähnlichen Verlauf auf, wenn auch das Geschwindigkeitsniveau bei sämtlichen SW-Stufen etwas höher liegt. Die Boxplots der beeinflussten Messquerschnitte werden auch hier durch die nässebedingte Geschwindigkeitsschaltung deutlich schmaler im Vergleich zum Referenzfall ohne SBA. Die mittleren Geschwindigkeiten sind bis auf Nässestufe 3 etwas höher im Vergleich zum unbeeinflussten Verkehr, jedoch mit deutlich weniger Geschwindigkeitsdiskrepanzen.

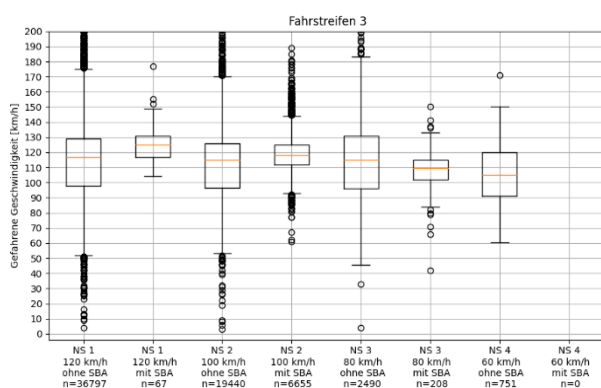


Abbildung 6-24: Boxplots der mittleren Geschwindigkeit für unterschiedliche niederschlagsbasierte Geschwindigkeitsschaltungen nach MARZ 2018 für den linken Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 4

Beim Vergleich von beeinflussten und unbeeinflussten Streckenbereichen in Abbildung 6-24 fällt auf, dass sich die durchschnittliche mittlere Geschwindigkeit bei den Nässestufen 1 bis 2 in unbeeinflussten Abschnitten von selbst auf ein im Vergleich zum SBA-Bereich geringeres Geschwindigkeitsniveau einstellt. Dennoch wird der Verkehr über alle Nässestufen hinweg durch die nässebedingte Geschwindigkeitsschaltung so beeinflusst, dass sich wie bei den anderen Fahrstreifen ein Geschwindigkeitsniveau mit deutlich geringeren Schwankungen einstellt. Die mittlere Geschwindigkeit bei Schaltung der dritten Nässestufe liegt im Vergleich zum unbeeinflussten Verkehr unter dessen Geschwindigkeitsniveau, auch wenn die Befolgung der angezeigten Geschwindigkeiten eher gering ist.

Die Boxplots zeigen für alle Fahrstreifen ein ähnliches Muster auf mit dem Unterschied, dass sich das mittlere Geschwindigkeitsniveau vom rechten Fahrstreifen hin zum linken immer weiter erhöht. Der Grund für die schmaleren Boxplots lässt sich vor allem auf die aktive SBA zurückführen. Resultierend kann die Wirksamkeitsthese

„Bei Niederschlagsereignissen und einer gleichzeitigen Geschwindigkeitsschaltung sich die gefahrene, mittlere Geschwindigkeit stärker reduziert, als ohne SBA.“

angenommen werden, da bei unterschiedlichen Nässestufen das mittlere Geschwindigkeitsniveau der Verteilungen des beeinflussten Verkehrs signifikant geringer ist als beim unbeeinflussten Verkehr und darüber hinaus deutlich weniger Schwankungen aufweist.

Wirksamkeitsthese 1-10

Die Auswertung der These

„Eine Geschwindigkeitsschaltung bei Niederschlag verstärkt die Harmonisierung im Vergleich ohne Schaltung. Aber: eine zu restriktive Witterungsschaltung kehrt den positiven Effekt um.“

soll zeigen, inwieweit sich bei Niederschlag eine geschaltete Geschwindigkeitsbegrenzung auf die Geschwindigkeitsdifferenzen aufeinanderfolgender Fahrzeuge bzw. die Harmonisierung des beeinflussten Verkehrs im Gegensatz zu unbeeinflusstem Verkehr auswirkt. Hinzu kommt die Annahme, dass sich der positive Effekt der Harmonisierung bei einer zu restriktiven Schaltung (Nässestufe 4/5) umkehrt und die Geschwindigkeitsdiskrepanzen verstärkt. Für die Auswertung werden die am Anfang dieses Kapitels genannten methodischen Schritte durchgeführt, indem zunächst die relevanten Daten ausgewählt und anschließend plausibilisiert werden. Die Filterung der Daten findet im Anschluss thesenorientiert mit Hilfe der Datenbank statt, wodurch sich die folgenden Parameter ergeben:

- $1,2 < \text{Niederschlagsintensität} \leq 400 \text{ mm/h}$
- Fahrstreifenbezogene Geschwindigkeit $v > 0 \text{ km/h}$
- Standardabweichung der Geschwindigkeit $s(v) > 0 \text{ km/h}$
- Fallunterscheidung (Fall 1) für den Fall mit / ohne SBA:
 - Mit SBA (Ereignisfall): Geschaltete, nässebedingte Geschwindigkeit $\leq 120 \text{ km/h}$ und B-Zeichen zeigt ggf. Gefahrenwarnung (ab Nässestufe 2)

- Ohne SBA (Referenzfall): Gliederung der Niederschlagsparameter in Nässestufen nach MARZ 2018
- Fallunterscheidung für den Vergleich zwischen-restriktive Schaltung / weniger restriktive Schaltung (Fall 2):
 - Restriktive Schaltung (Ereignisfall): Geschaltete, nässebedingte Geschwindigkeit für Nässestufe 4/5 (60 km/h)
 - Nicht-Restriktive Schaltung (Referenzfall): Geschaltete, nässebedingte Geschwindigkeit für Nässestufe 1 bis 3 (120, 100 und 80 km/h)
- „freier“ Verkehrszustand

Die Filterung nach der Niederschlagsintensität dient in diesem Fall als zusätzliche Plausibilisierung, dass bei eingeschalteter, nässebedingter Geschwindigkeitsbegrenzung tatsächlich auch eine Einschränkung durch eine nasse Fahrbahn vorliegt.

Die statistische Auswertung der Wirksamkeitsthese erfolgt im Hinblick auf die Standardabweichung der Geschwindigkeit $s(v)$ für den Vergleich zwischen beeinflussten und unbeeinflussten Streckenabschnitten sowie dem Vergleich zwischen restriktiver und nicht restriktiver Schaltung. Dabei werden Messquerschnitte ohne SBA gemäß MARZ 2018 in Abhängigkeit der vorhandenen Nässeparameter NI und WFD in Nässestufen gegliedert und beeinflusste Streckenabschnitte nach der tatsächlich geschalteten Nässeerschaltung. Die Nullhypothese H_0

kann demnach für die statistische Analyse in zwei Fallunterscheidungen $H_{0,1}$ und $H_{0,2}$ umgekehrt zur These zu

Fall 1 (Vergleich mit / ohne SBA):

$$H_{0,1}: \sigma^2_{\text{ohne SBA (theoretische Schaltung)}} \leq \sigma^2_{\text{Schaltung, mit SBA}}$$

Fall 2 (zu restriktive Schaltung):

$$H_{0,2}: \sigma^2_{\text{mit SBA, NI-Stufe 4/5}} \leq \sigma^2_{\text{mit SBA, NI-Stufe 1-3}}$$

definiert werden. Die zu widerlegenden Nullthesen $H_{0,1}$ und $H_{0,2}$ behaupten demnach zum einen, dass die Geschwindigkeitsdiskrepanzen aufeinanderfolgender Fahrzeuge in SBA-beeinflussten Streckenabschnitten bei Niederschlagsereignissen und einer geschalteten Geschwindigkeitsbegrenzung höher sind als bei unbeeinflussten Abschnitten. Zum anderen, dass bei restriktiven Schaltungen von 60 km/h bei Nässestufe 4/5 die Standardabweichung der Geschwindigkeit in SBA-Bereichen im Gegensatz zu unbeeinflussten Streckenabschnitten abnimmt.

Auch hier werden die Ergebnisse von MQ-Gruppe 9 dargelegt, da für die MQ der Gruppe 4 keine ausreichende Stichprobe vorliegt. Weitere statistische Auswertungen anderer MQ-Gruppen befinden sich in Anhang 6.

Zur Untersuchung der Nullhypothese $H_{0,1}$ für Fall 1 sind in Tabelle 6-21 die Ergebnisse der statistischen Auswertung für Nässestufe 1 für die MQ-Gruppe 9 aufgelistet.

Tabelle 6-21: Statistische Auswertung der Nässestufe 1 für alle Fahrstreifen für These 1-10 für MQ-Gruppe 9

Nässestufe 1						
Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen		mittlerer Fahrstreifen		linker Fahrstreifen	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H_{Ref}	Std. $H_{Ereignis}$	Std. H_{Ref}	Std. $H_{Ereignis}$	Std. H_{Ref}	Std. $H_{Ereignis}$
Mittelwert $s(v)$	9,122	9,850	8,047	10,476	8,412	9,780
Varianz	24,684	19,066	20,587	13,626	16,007	20,794
Beobachtungen	156	2923	107	2697	17	2118
Freiheitsgrade (df)	155	2922	106	2696	16	2117
Shapiro p-Wert	7,342E-06	8,488E-19	5,004E-03	1,167E-26	2,444E-02	5,405E-26
Levene p-Wert	1,604E-01		1,610E-04		4,550E-01	
Prüfgröße (F)	1,295		1,511		1,299	
p-Wert F-Test	9,635E-03		7,193E-04		2,785E-01	
Kritischer F-Wert	1,200		1,241		1,963	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		ja	
Ergebnis	H_0 verwerfen		H_0 verwerfen		H_0 annehmen	

MQ-Gruppe 9 zeigt für Nässestufe 1, dass die Nullhypothese $H_{0,1}$ für den rechten und mittleren Fahrstreifen verworfen werden kann. Lediglich die Verteilung des Ereignisfalls (mit SBA) ist nicht signifikant geringer als die Verteilung des Referenzfalls. Die weiterführende statistische Auswertung in Anhang 6 ergibt für den ersten Fall (Vergleich mit / ohne SBA), dass die Nullhypothese $H_{0,1}$ in den meisten Fällen abgelehnt werden kann. Resultierend sind die Verteilungen der Standardabweichung der Geschwindigkeit in beeinflussten Streckenab-

schnitten geringer als beim unbeeinflussten Verkehr, weshalb die These im Hinblick auf eine verstärkte Harmonisierung angenommen werden kann.

In Abbildung 6-25 bis Abbildung 6-27 sind die Ergebnisse der These für MQ-Gruppe 9 dargestellt.

Die Nullhypothese $H_{0,2}$ von Fall 2 kann mit den Ergebnissen aus Tabelle 6-22 und Tabelle 6-23 für die MQ-Gruppe 9 untersucht werden. Für den linken Fahrstreifen liegen in diesem Fall keine Daten für eine restriktive Schaltung vor.

Tabelle 6-22: Statistische Auswertung für die Untersuchung der restriktiven Schaltung (60 km/h) für den rechten Fahrstreifen für These 1-10 für MQ-Gruppe 9

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen					
	120 km/h <-> 60 km/h		100 km/h <-> 60 km/h		80 km/h <-> 60 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert $s(v)$	9,850	7,286	8,525	7,286	7,369	7,286
Varianz	19,066	6,776	14,772	6,776	12,050	6,776
Beobachtungen	2923	14	26035	14	1941	14
Freiheitsgrade (df)	2922	13	26034	13	1940	13
Shapiro p-Wert	8,488E-19	1,200E-01	0	1,200E-01	1,005E-31	1,200E-01
Levene p-Wert	9,974E-03		5,556E-02		1,687E-01	
Prüfgröße (F)	2,814		2,180		1,778	
p-Wert F-Test	1,745E-02		5,254E-02		1,150E-01	
Kritischer F-Wert	2,133		2,131		2,134	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		ja		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ annehmen		H₀ annehmen	

Tabelle 6-23: Statistische Auswertung für die Untersuchung der restriktiven Schaltung (60 km/h) für den mittleren Fahrstreifen für These 1-10 für MQ-Gruppe 9

Zwei-Stichproben F-Test	mittlerer Fahrstreifen					
	120 km/h <-> 60 km/h		100 km/h <-> 60 km/h		80 km/h <-> 60 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert $s(v)$	10,476	8,091	8,736	8,091	8,360	8,091
Varianz	13,626	11,719	13,088	11,719	11,543	11,719
Beobachtungen	2697	11	23215	11	1754	11
Freiheitsgrade (df)	2696	10	23214	10	1753	10
Shapiro p-Wert	1,167E-26	4,399E-02	0	4,399E-02	1,568E-22	4,399E-02
Levene p-Wert	7,777E-01		8,871E-01		9,906E-01	
Prüfgröße (F)	1,163		1,117		1,015	
p-Wert F-Test	4,293E-01		4,634E-01		4,280E-01	
Kritischer F-Wert	2,406		2,405		1,794	
$F_{pr} < F_{kr}$	ja		ja		ja	
Ergebnis	H₀ annehmen		H₀ annehmen		H₀ annehmen	

Die statistische Auswertung für den zweiten Fall der Fallunterscheidung zeigt für MQ-Gruppe 9, dass die Mehrheit der Verteilungen der Standardabweichung der Geschwindigkeit der nicht-restriktiven Schaltungen nicht (signifikant) geringer als die Verteilungen des Ereignisfalls (restriktive Schaltung) ist. Demnach kann für MQ-Gruppe 9 die Nullhypothese $H_{0,2}$ angenommen werden, was zu einer Ablehnung des definierten Zusatzes der Wirksamkeitsthese führt. Bei MQ-Gruppe 8 in Anhang 6 bildet die statistische Auswertung ein völlig anderes Bild ab, hier kann die Nullhypothese $H_{0,2}$ für alle Fälle und Fahrstreifen abgelehnt werden, was für die Annahme des Zusatzes der Wirksamkeitsthese spricht. An dieser Stelle ist denkbar, dass topologische Unterschiede zu verschiedenen Resultaten führen, sodass an dieser Stelle nicht eindeutig bestimmt werden kann, ob eine zu restriktive Schaltung den positiven Effekt einer aktiven SBA-Schaltung umkehrt oder nicht.

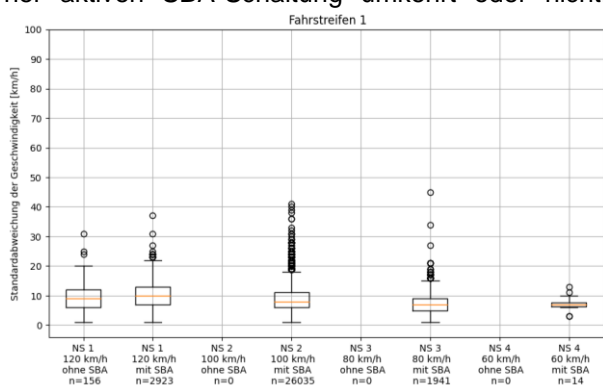


Abbildung 6-25 Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 4

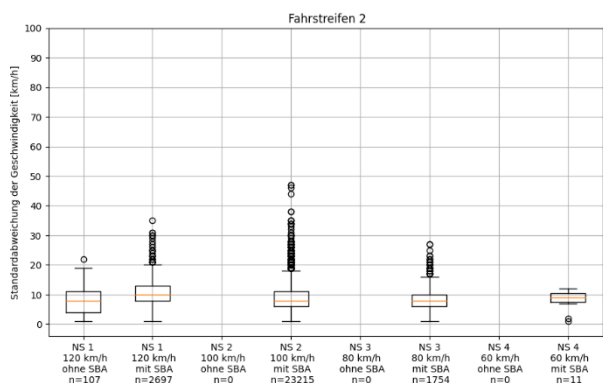


Abbildung 6-26 Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 4

In Abbildung 6-25 ist für den rechten Fahrstreifen eine Verringerung der Standardabweichung der Ge-

schwindigkeit mit steigender Nässestufe zu erkennen. Die Standardabweichung der Geschwindigkeit bei Nässestufe 1 liegt beim beeinflussten und unbeeinflussten Verkehr auf einem ähnlichen Niveau.

Wie beim rechten Fahrstreifen ist in Abbildung 6-26 für den mittleren Fahrstreifen ebenfalls eine Verringerung der Standardabweichung der Geschwindigkeit mit steigender Nässestufe zu erkennen. Lediglich das Niveau der Standardabweichung der Geschwindigkeit der Nässestufe 4/5 liegt etwas höher gegenüber dem Niveau von Nässestufe 2 und 3. Der Mittelwert der theoretischen Nässestufe 1 des unbeeinflussten Verkehrs ist entgegen des beeinflussten Verkehrs geringer, jedoch streut dessen Standardabweichung stärker.

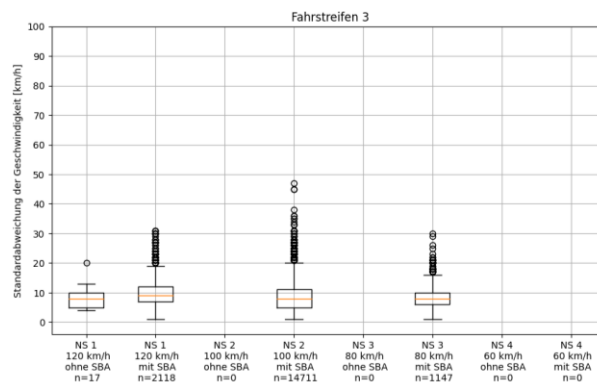


Abbildung 6-27 Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 4

Die Boxplots in Abbildung 6-27 weisen bis auf Nässestufe 1 eine zum mittleren Fahrstreifen ähnliches Muster auf. Darüber hinaus ist erkennbar, dass in beeinflussten Abschnitten keine Daten für Nässestufe 4/5 vorliegen, sodass der statistische Vergleich zwischen restriktiven und nicht-restriktiven Schaltungen für diesen Fahrstreifen nicht durchgeführt werden konnte.

Mit Hilfe der analysierten MQ-Gruppen in Anhang 6 gehen für diese These die folgenden Resultate hervor. Der erste Untersuchungsfall (Vergleich mit / ohne SBA) der Wirksamkeitsthese

„Eine Geschwindigkeitsschaltung bei Niederschlag die Harmonisierung im Vergleich ohne Schaltung verstärkt.“

kann demnach angenommen werden, da bei unterschiedlichen Nässestufen die Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit des beeinflussten Verkehrs signifikant geringer ist als beim

unbeeinflussten Verkehr. Dadurch kann die Nullhypothese $H_{0,1}$ in den meisten Fällen abgelehnt und damit die These im Hinblick auf eine verstärkte Harmonisierung angenommen werden.

Der Zusatz der Wirksamkeitsthese

„Eine zu restriktive Witterungsschaltung kehrt den positiven Effekt um.“

kann ebenfalls mit den MQ-Gruppen aus Anhang 6 ausgewertet werden. Jedoch sind die Resultate so unterschiedlich, dass dieser Untersuchungsfall weder angenommen noch verworfen werden kann.

Wirksamkeitsthese 1-11

Die Auswertung der These

„Die Abweichung der mittleren Geschwindigkeit von der angezeigten Geschwindigkeit von SBA ist bei Niederschlagsereignissen größer als bei angezeigten Geschwindigkeiten während trockener Witterungsbedingungen. Dies trifft eher bei schwachem, als bei starkem Verkehr zu.“

soll darstellen, inwieweit sich die Abweichungen der mittleren Geschwindigkeit von der angezeigten Geschwindigkeitsbegrenzung zwischen trockenen und nassen Witterungsbedingungen unterscheidet. Für die Untersuchung werden nach vorangestellter Auswahl und Plausibilisierung der relevanten Daten im Hinblick auf die Thesendefinition die folgenden Parameter in der Datenbank gefiltert:

- Fahrstreifenbezogene Geschwindigkeit $v > 0$ km/h
- Standardabweichung der Geschwindigkeit $s(v) > 0$ km/h
- Geschwindigkeitsbegrenzung ≤ 120 km/h
- Fallunterscheidung für den Fall trocken / nass:
 - Nasse Witterungsbedingungen (Ereignis):
 - $1,2 < \text{Niederschlagsintensität} \leq 400$ mm/h
 - Gefahrenschaltung = ‚Schleudergefahr‘ oder ‚-‘

- Trockene Witterungsbedingungen (Referenzfall):

- Niederschlagsintensität $\leq 1,2$ mm/h
- Gefahrenschaltung = ‚-‘ (trocken)

- „freier“ und „dichter“ Verkehrszustand

Bei Niederschlagsereignissen werden die im MARZ 2018 definierten Schaltungen bei unterschiedlichen Nässestufen herangezogen. Die Filterung nach der Niederschlagsintensität dient in diesem Fall als zusätzliche Plausibilisierung, dass bei nassebedingten Schaltungen tatsächlich auch eine nasse und bei trockenen Witterungsverhältnissen eine trockene Fahrbahn vorliegt. Durch den angehängten Zusatz der These, dass die Aussage eher bei schwachem als bei starkem Verkehr auftritt werden die beiden Verkehrsstufen „freier“ und „dichter“ Verkehr nach MARZ 2018 herangezogen. Die übrigen Verkehrsstärken sind so hoch, dass eine Befolgung einer aktiven Geschwindigkeitsschaltung nicht mehr messbar wäre, da sich der Verkehr selbst beeinflussen würde.

Mit der mittleren Geschwindigkeit erfolgt nach der Prüfung auf Normalverteilung die statistische Auswertung. Dabei wird die Nullhypothese H_0 umgekehrt zu der Annahme der These zu

$$H_0: \sigma^2_{\text{Nässe}} \leq \sigma^2_{\text{trockene Witterungsbedingungen}}$$

definiert. Die zu widerlegende Nullhypothese H_0 behauptet demnach, dass bei Nässe die Abweichung der mittleren Geschwindigkeit von der aktiv geschalteten Geschwindigkeitsbegrenzung geringer ist als bei trockenen Witterungsbedingungen.

In Tabelle 6-24 bis Tabelle 6-27 sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung für die MQ-Gruppe 4 aufgelistet. Die abweichende Geschwindigkeit ergibt sich dabei aus der Differenz zwischen der mittleren Geschwindigkeit und der tatsächlich angezeigten Geschwindigkeit:

abweichende Geschwindigkeit

= mittlere Geschwindigkeit – angezeigte Geschwindigkeit

Tabelle 6-24: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11

Rechter Fahrstreifen, freier Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-27,0	-28,0	-7,5	-9,9	6,3	1,1
Varianz	47,222	67,978	68,276	62,886	84,961	77,463
Beobachtungen	33245	78	62382	9233	1458	362
Freiheitsgrade (df)	33244	77	62381	9232	1457	361
Shapiro p-Wert	0	3,774E-05	0	8,662E-34	6,241E-31	3,343E-07
Levene p-Wert	0,078		1,481E-10		0,217	
Prüfgröße (F)	1,440		1,086		1,097	
p-Wert F-Test	7,004E-03		1,144E-07		0,139	
Kritischer F-Wert	1,278		1,026		1,150	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen	

Tabelle 6-25: Statistische Auswertung für den mittleren Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11

Mittlerer Fahrstreifen, freier Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-4,7	-9,3	9,8	6,0	23,2	14,7
Varianz	57,358	68,959	93,502	85,568	152,576	157,790
Beobachtungen	33094	76	58460	8823	1386	332
Freiheitsgrade (df)	33093	75	58459	8822	1385	331
Shapiro p-Wert	0	6,990E-01	0	1,152E-41	2,947E-30	9,904E-08
Levene p-Wert	0,157		1,441E-03		0,099	
Prüfgröße (F)	1,202		1,093		1,034	
p-Wert F-Test	0,112		2,645E-08		0,343	
Kritischer F-Wert	1,281		1,027		1,149	
$F_{pr} < F_{kr}$	ja		nein		ja	
Ergebnis	H₀ annehmen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen	

Tabelle 6-26: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11

Linker Fahrstreifen, freier Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	12,8	5,7	23,9	19,4	38,6	28,3
Varianz	102,110	156,976	142,064	125,015	169,709	156,224
Beobachtungen	32151	67	40592	6655	1094	208
Freiheitsgrade (df)	32150	66	40591	6654	1093	207
Shapiro p-Wert	0	3,010E-04	0	5,043E-42	5,561E-23	3,353E-07
Levene p-Wert	5,772E-02		3,507E-06		0,879	
Prüfgröße (F)	1,537		1,136		1,086	
p-Wert F-Test	3,349E-03		9,781E-12		0,230	
Kritischer F-Wert	1,301		1,031446645		1,200	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen	

Tabelle 6-27: Statistische Auswertung für alle Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand für These 1-11

Alle Fahrstreifen, dichter Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen, A-Zeichen = 100 km/h		mittlerer Fahrstreifen, A-Zeichen = 100 km/h		linker Fahrstreifen, A-Zeichen = 100 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-18,0	-21,6	-5,1	-9,7	6,4	3,2
Varianz	28,230	53,344	36,813	71,249	82,864	97,136
Beobachtungen	341	67	341	67	341	67
Freiheitsgrade (df)	340	66	340	66	340	66
Shapiro p-Wert	5,514E-10	2,283E-09	0,064	1,487E-07	1,077E-21	1,441E-06
Levene p-Wert	0,428		0,345		0,425	
Prüfgröße (F)	1,890		1,935		1,172	
p-Wert F-Test	1,468E-04		8,426E-05		0,187	
Kritischer F-Wert	1,341		1,341		1,341	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen	

Die statistische Analyse für MQ-Gruppe 4 ergibt, dass bei allen Fahrstreifen beim freien Verkehrszustand der Unterschied der Verteilungen zwischen einer nässebedingten und einer bei trockenen Witterungsverhältnissen bedingten Geschwindigkeitsschaltung von 80 km/h nicht signifikant ist. In diesem Fall werden die Nullhypothesen H_0 angenommen und führen damit zu einer Verwerfung der Wirksamkeitsthese bei einer angezeigten Geschwindigkeitsbegrenzung von 80 km/h. Bei einer Schaltung von 100 km/h beim freien Verkehrszustand kann für alle Fahrstreifen die Nullhypothese H_0 verworfen werden. Bis auf den mittleren Fahrstreifen können in der Verkehrsstufe „freier Verkehr“ auch die Nullhypothesen H_0 verworfen werden. Im

Hinblick auf den dichten Verkehrszustand können bei einer Geschwindigkeitsschaltung von 100 km/h bis auf den linken Fahrstreifen die einzelnen Nullhypothesen H_0 verworfen werden. Resultate der anderen MQ-Gruppen aus Anhang 6 zeigen, dass die Nullhypothese H_0 bis auf wenige Ausnahmen wie bei MQ-Gruppe 4 abgelehnt werden kann. Das gilt für den freien gleichermaßen wie für den dichten Verkehrszustand.

Dieses Ergebnis lässt sich auch graphisch in Abbildung 6-28 bis Abbildung 6-33 für MQ-Gruppe 4 nachvollziehen.

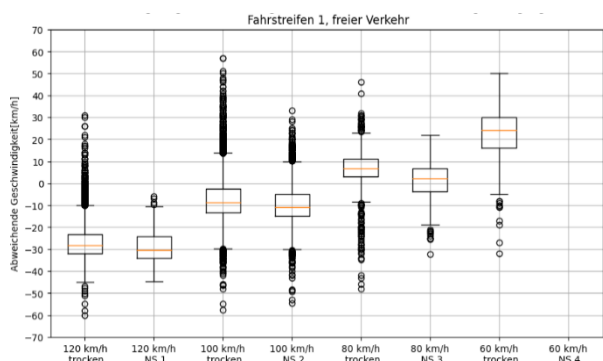


Abbildung 6-28 Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 4

Die Boxplots für den rechten Fahrstreifen für den freien Verkehrszustand in Abbildung 6-28 zeigen, dass die Abweichung der mittleren Geschwindigkeit zur angezeigten Geschwindigkeitsbegrenzung bei nassebedingten Schaltungen höher sind als bei Schaltungen bei trockenen Witterungsbedingungen. Bedingt durch den Schwerverkehr auf dem rechten Fahrstreifen sind die Abweichungen für beide Witterungsbedingungen bei der Schaltung von 120 km/h besonders hoch, diese nähern sich jedoch bei weiter reduzierten Geschwindigkeitsbegrenzungen der angezeigten Geschwindigkeit an.

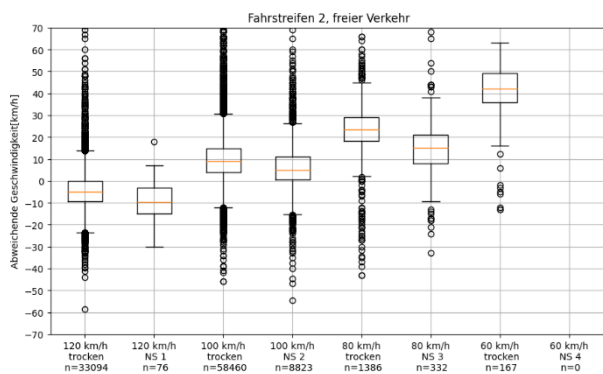


Abbildung 6-29 Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den mittleren Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 4

Abbildung 6-29 zeigt im Vergleich zum rechten Fahrstreifen einen ähnlichen Verlauf, jedoch verschieben sich hier die Abweichungen mehr in den positiven Bereich, die gefahrene Geschwindigkeit ist ab diesem Punkt höher als die angezeigte Geschwindigkeitsbegrenzung. Je restriktiver die Geschwindigkeitsschaltung wird, desto höher liegt die

gefahrenere Geschwindigkeit oberhalb der angezeigten Geschwindigkeit. Das trifft auf beide Witterungszustände gleichermaßen zu.

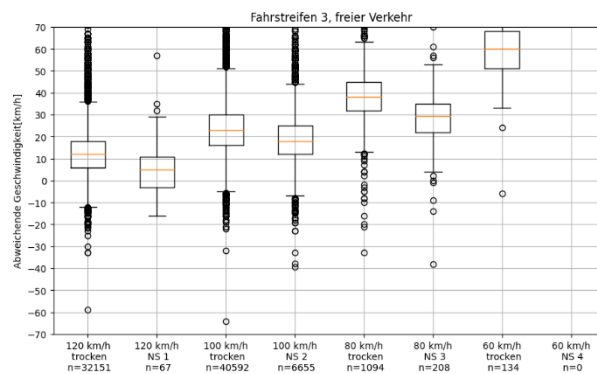


Abbildung 6-30 Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 4

Beim linken Fahrstreifen in Abbildung 6-30 befinden sich sämtliche Abweichungen im positiven Bereich, die gefahrene Geschwindigkeit ist generell also höher als die angezeigte Geschwindigkeitsbegrenzung. Dennoch zeichnet sich wie bei den anderen Fahrstreifen eine geringere Abweichung bei nassebedingten Schaltungen gegenüber Schaltungen bei trockenen Witterungsverhältnissen ab.

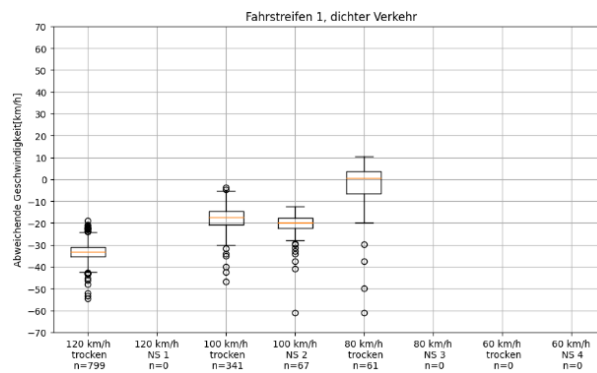


Abbildung 6-31 Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 4

Im Hinblick auf den dichten Verkehr zeichnet sich in Abbildung 6-31 bei einer Schaltung von 100 km/h ein ähnliches Bild gegenüber dem freien Verkehrszustand desselben Fahrstreifens ab, auch wenn die Datengrundlage des dichten Verkehrs bei MQ-Gruppe 4 geringer ausfällt. Jedoch weisen die Boxplots gegenüber dem rechten Fahrstreifen des freien Verkehrszustandes eine deutlich geringere

Spannweite auf. Der Verkehr orientiert sich also mehrheitlich auf ein festes Geschwindigkeitsniveau.

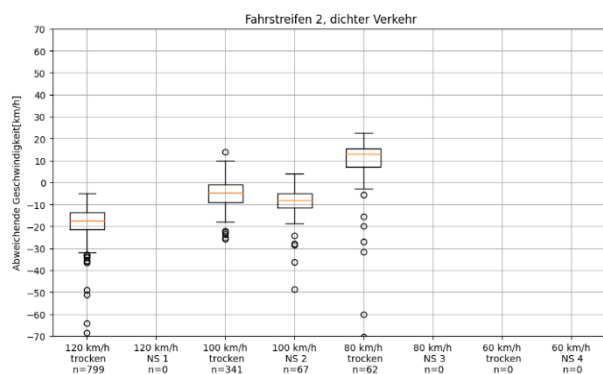


Abbildung 6-32 Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den mittleren Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 4

Wie auch beim mittleren Fahrstreifen des freien Verkehrszustandes zeigt Abbildung 6-32, dass sich die Abweichungen in den positiven Bereich bewegen. Wie schon beim rechten Fahrstreifen der Verkehrsstufe „dicht“ behalten die Boxplots ihre schmale Form.

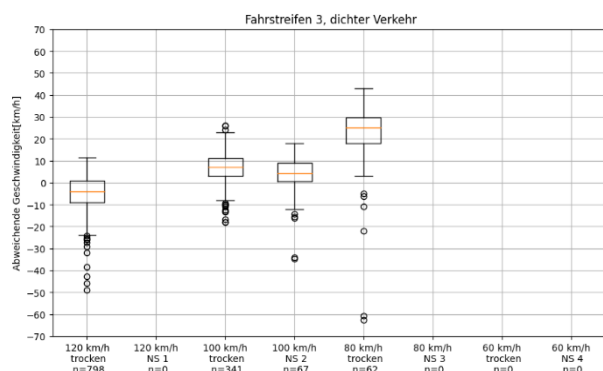


Abbildung 6-33 Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 4

Abbildung 6-33 zeigt wie auch beim linken Fahrstreifen des freien Verkehrszustandes eine höhere, positive Abweichung im Vergleich zu den anderen Fahrstreifen des dichten Verkehrszustandes auf. Auch hier behalten die Boxplots eine schmalere Form als beim freien Verkehrszustand, wodurch der Verkehr eine einheitlichere Geschwindigkeit fährt.

Zusammenfassend ist erkennbar, dass die angezeigte Geschwindigkeit bei Niederschlagsereignissen stärker befolgt wird, im Gegensatz zu einer ge-

schalteten Geschwindigkeitsbegrenzung bei trockenen Witterungsverhältnissen. Das trifft auf die Verkehrszustände „frei“ und „dicht“ gleichermaßen zu. Die Ursache dafür könnten die durch die Nässe verschlechterten Fahrtbedingungen sein, sodass die Geschwindigkeit weiter reduziert wird als bei Geschwindigkeitsbegrenzungen bei trockenen Witterungsverhältnissen. Es gilt zu beachten, dass der F-Test in beide Richtungen gerichtet ist, sodass jederzeit der Abstand zur „Nulllinie“ ausschlaggebend für die Abweichung der gefahrenen Geschwindigkeit ist. Die Tatsache, dass die Boxplots bei dichtem Verkehr schmaler werden, zeichnet sich in den Boxplots der anderen MQ-Gruppen in Anhang 6 ab. Grund dafür könnten schon gegenseitige verkehrliche Beeinflussungen sein, sodass die Geschwindigkeit vom Verkehrsteilnehmer nicht mehr frei gewählt werden kann. Resultierend kann die Wirksamkeitsthe

„Die Abweichung der mittleren Geschwindigkeit von der angezeigten Geschwindigkeit von SBA bei Niederschlagsereignissen größer ist als bei angezeigten Geschwindigkeiten während trockener Witterungsbedingungen. Dies trifft eher bei schwachem, als bei starkem Verkehr zu.“

angenommen werden, auch wenn in Einzelfällen die Abweichungen der Verteilungen der gefahrenen Geschwindigkeit von nässebedingten Schaltungen im Vergleich zu Schaltungen bei trockenen Witterungsbedingungen nicht signifikant sind.

Die Thesenauswertungen aller MQ-Gruppen sind in Anhang 6 hinterlegt.

6.3 Auswertung coronabedingter Einflüsse auf den Verkehr

Während der Laufzeit des vorliegenden Forschungsvorhabens hatten die Maßnahmen zur Eindämmung der COVID-19-Pandemie erheblichen Einfluss auf das Verkehrsaufkommen. So lässt sich bspw. eine Reduktion der Verkehrsstärken von fast 50 % in den Tagesganglinien während des ersten Lockdowns im Zeitraum von 16.03.2020 bis 04.05.2020 verzeichnen. Demnach wird in der vorliegenden Studie exemplarisch der Einfluss der Pandemie hinsichtlich der Reduktion verkehrsbedingter Schaltungen untersucht. Im Zeitraum der sog. Zwischenzeit (Zeit zwischen den Lockdowns)

vom 05.05.2020 bis 01.11.2020 wurden sämtliche Tage innerhalb der Ferien herausgefiltert.

Die folgende Abbildung zeigt die durchschnittlichen Tagesganglinien unterschiedlicher Phasen der

Pandemie für den in Kapitel 3.2.1 definierten Untersuchungszeitraum für einen dreistreifigen Messquerschnitt mit SBA auf der A8 auf der Albhochfläche zwischen Stuttgart und Ulm.

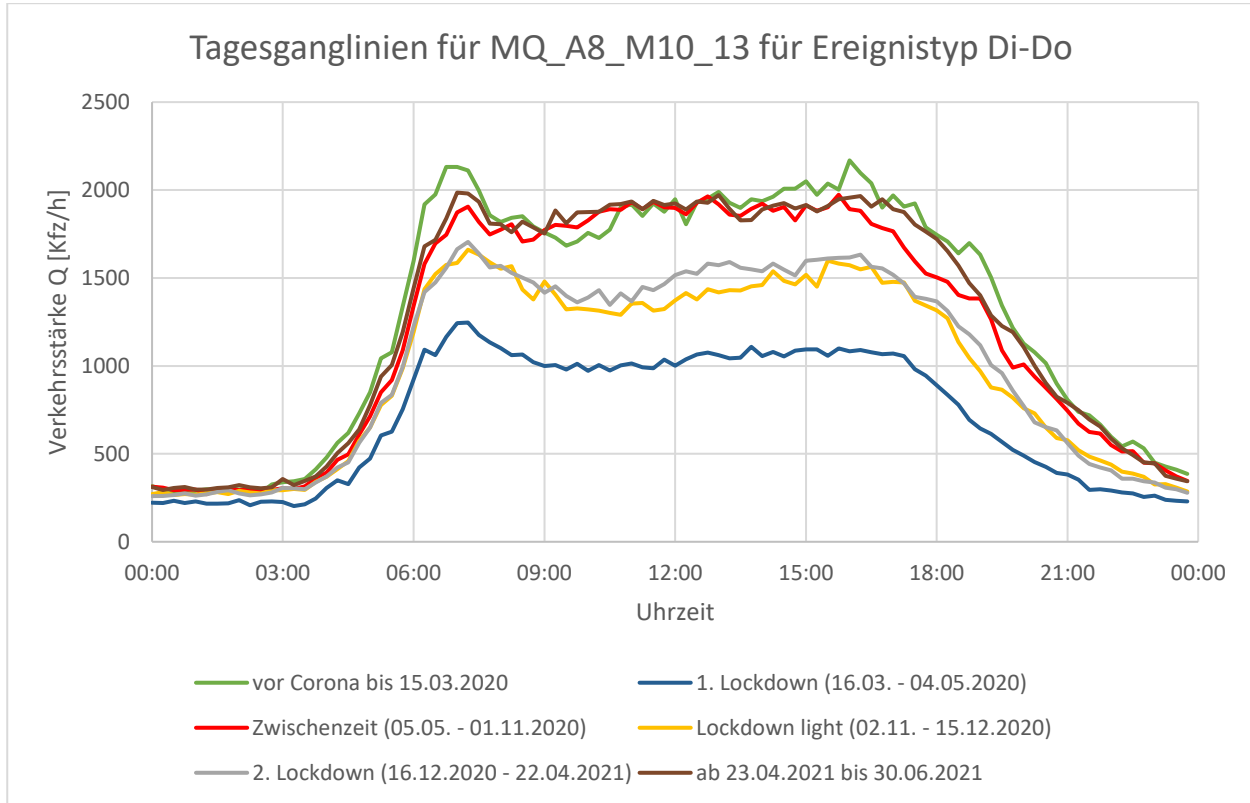


Abbildung 6-34 Musterganglinien des MQ M10_13 der A8 für unterschiedliche Zeiträume mit Bezug zur Corona-Pandemie

Der stärkste Rückgang der Verkehrsstärke lässt sich während des ersten Lockdowns verzeichnen. In der sog. Zwischenzeit vom 05.05.2020 bis 01.11.2020 befindet sich die Verkehrsstärke auf einem ähnlich hohen Niveau wie vor dem ersten Lockdown mit dem Unterschied, dass die Morgen- und Nachmittagsspitzen deutlich weniger ausgeprägt sind. Für die „Entzerrung“ dieser Ganglinie kann es unterschiedliche Ursachen geben. Ein Grund dafür kann die vermehrte Nutzung von Homeoffice, teilweise bedingt durch das vorgeschriebene Homeschooling oder eingeschränkte Nutzung von Kindertagesstätten sein, wodurch Fahrten zur Arbeit bzw. zur Schule/Kindergarten entfallen. In den Zeiträumen von Lockdown „light“ vom 02.11.2020 bis 15.12.2020 und dem zweiten Lockdown seit dem 16.12.2020 verläuft die Ver-

kehrsstärke auf einem gleichen, wenn auch im Vergleich zum Zeitraum vor Corona niedrigerem Niveau, sinkt allerdings nicht mehr auf das Niveau während des ersten Lockdowns. Die Verkehrsstärke im letzten Zeitraum vom 23.04.2021 bis zum Ende der verfügbaren Daten ist nahezu deckungsgleich mit dem Verlauf der sog. Zwischenzeit. Die Morgenspitze des Zeitraums liegt zwischen dem Niveau der „Vor-Corona-Zeit“ und der Zwischenzeit, nähert sich jedoch ab der Nachmittagsspitze eher der „Vor-Corona-Linie“ an.

Die prozentualen Unterschiede zwischen den in Kapitel 3.2.1 genannten Zeiträumen und der „Vor-Corona-Zeit“ lassen sich in dem folgenden Diagramm nachvollziehen.

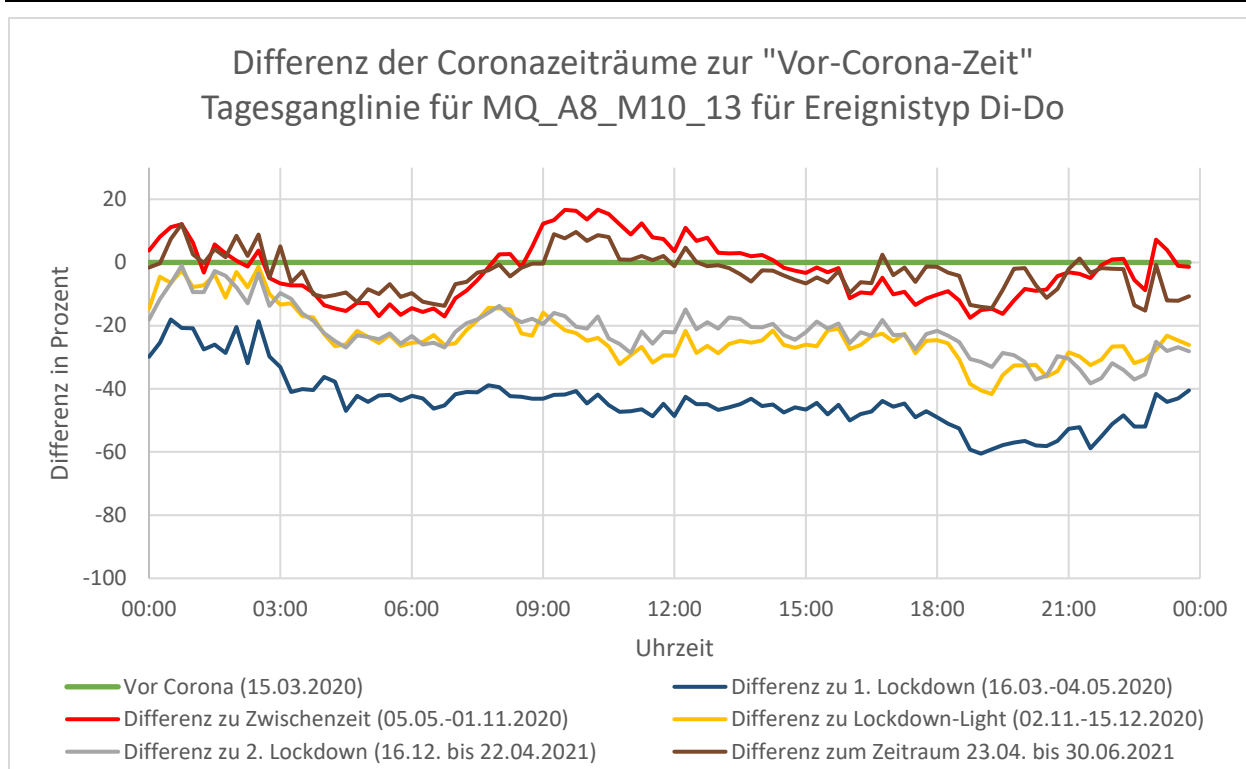


Abbildung 6-35 Prozentuale Abweichungen der vordefinierten Zeiträume im Vergleich zur „Vor-Corona-Zeit“ für den MQ M10_13 an der A8 in Baden-Württemberg

Mit dieser Darstellung lassen sich die Besonderheiten bzgl. der verkehrlichen Schwankungen zu den vordefinierten Zeiträumen besser erkennen. So fällt wie zuvor in Abbildung 6-34 der starke Rückgang der Verkehrsstärke um ca. 50 % im ersten Lockdown auf. In der Zwischenzeit zwischen den Lockdowns hat der Verkehr zu den Spitzenzeiten um fast 20 % Prozent abgenommen, was sich auf die verstärkte Nutzung von Homeoffice und Kinderbetreuung zu Hause zurückführen lassen könnte. Da sich im Homeoffice Erledigungen auch im Tagesverlauf durchführen lassen, könnte dies sogar zu einer Steigerung der Verkehrsstärke um fast 20 % zur Mittagszeit im Vergleich zur „Vor-Corona-Zeit“ führen und damit die o.g. „Entzerrung“ der Ganglinie verursachen. Im Hinblick auf die anschließenden Lockdowns (Lockdown light und zweiter Lockdown) lassen sich die niedrigen Niveaus mit einer Differenz von ca. 30 % im Vergleich zur Ausgangssituation wiedererkennen. Am geringsten ist der prozentuale Unterschied im Vergleich zur Ausgangssituation bei der Linie für den Zeitraum vom 23.04.2021 bis zum 30.06.2021 erkennbar.

Durch die geringeren Verkehrsstärken während der Corona-Pandemie liegt die Vermutung nahe, dass

verkehrsbedingte Schaltungen ebenfalls für die betrachteten Zeiträume abgenommen haben können. Daher werden exemplarisch für diesen Messquerschnitt zusätzlich die Schaltungen der Streckenbeeinflussungsanlage ebenfalls über die vordefinierten Zeiträume ausgewertet.

Die beobachteten SBA-Schaltungen am Standort setzen sich aus ereignisbedingten Schaltungen (z.B. Witterung, Baustelle, Unfall) oder verkehrlich bedingten Schaltungen (Harmonisierung, Stau) zusammen. Da für die Auswertung keine Schaltungsgründe, sondern IST-Schaltungen vorliegen, können die Geschwindigkeitsschaltungen auf dem WVZ A nicht direkt der Harmonisierung zugeordnet werden. Indirekt kann aber der Anteil verkehrlich bedingter Geschwindigkeitsschaltungen abgeleitet werden, indem vom Gesamtanteil aller Geschwindigkeitsschaltungen der Zeitanteil der gleichzeitig aktiven Warnschaltungen (Baustelle, allgemeine Gefahr, Schleudergefahr, etc., nicht aber Überholverbote) subtrahiert wird. Zu beachten ist dabei aber z.B., dass die erste Nässe- oder Sichtweiten-Warnstufe in der Regel ohne Gefahrenwarnungen geschaltet wird, sodass der Anteil des Harmonisierungsanteils überschätzt wird. Daraus ergibt sich, dass vor Beginn des 1. Lockdowns in 7,3% der Zeit

Geschwindigkeitsschaltungen aktiv waren, gleichzeitig waren in 2,3% der Zeit auch Gefahrenwarnungen aktiv. Somit beträgt der Anteil von Harmonisierungsschaltungen maximal 5%. Im ersten Lockdown beträgt der Zeitanteil der Geschwindigkeitsschaltungen 5,1% bei gleichzeitig zu 1,4% aktiven Gefahrenwarnungen (maximaler Harmonisierungsanteil liegt damit bei 3,7%). Grundsätzlich werden also auf diesem Streckenabschnitt wenige Harmonisierungseingriffe vorgenommen, der maßgebliche Grund für die Errichtung von telematischer Infrastruktur liegt in der Funktion einer Nebelwarnanlage. Dies lässt sich gut in den Zeiträumen des Lockdown lights (November/Dezember 2020) sowie im 2. Lockdown (Auswertungszeitraum Dezember 2020 bis Ende Februar 2021) erkennen, in dem der Zeitanteil von Sichtweitenwarnungen 10,7% bzw. 3,4% beträgt.

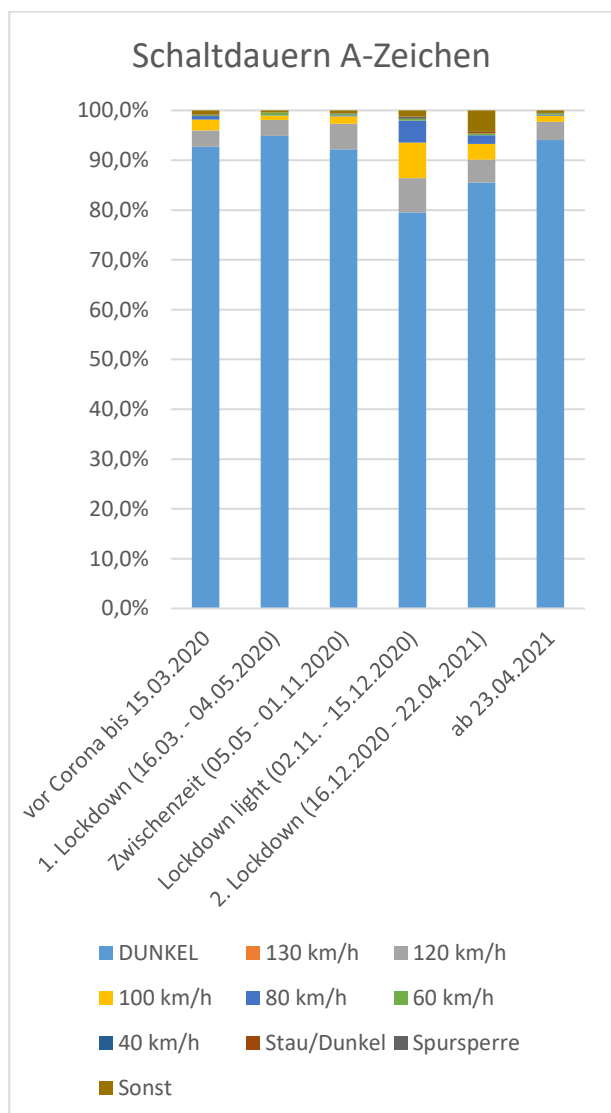


Abbildung 6-36 Zeitanteil von Schaltungen des WVZ A am Standort M10 (Nebelwarnanlage A8, Baden-Württemberg)

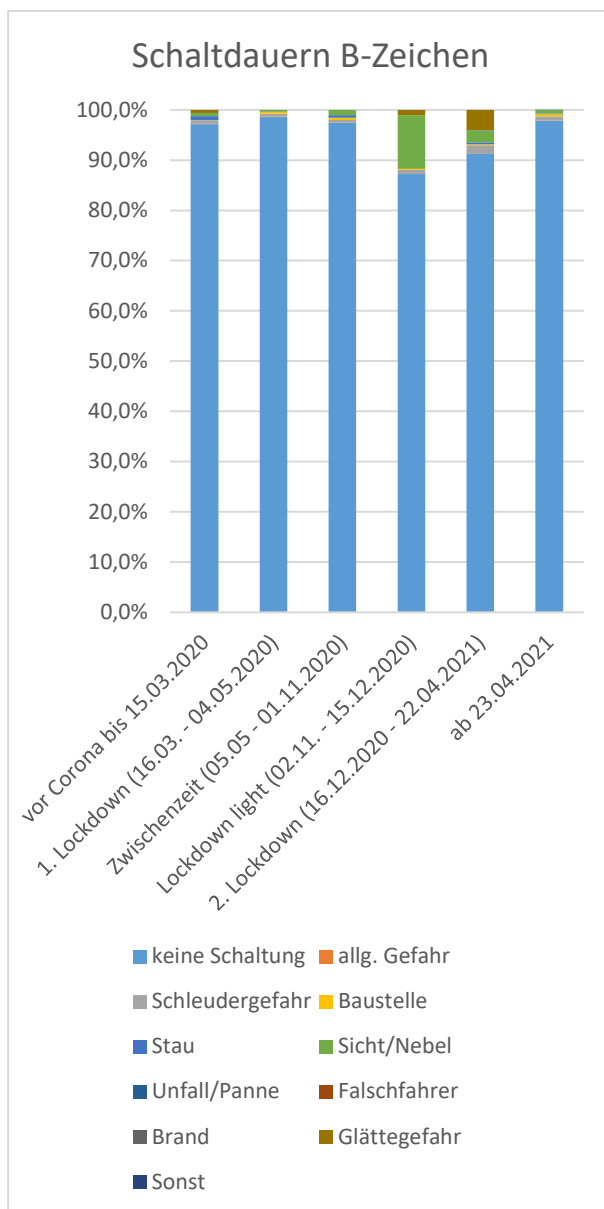


Abbildung 6-37 Zeitanteil von Gefahrenwarnungen im WVZ B am Standort M10 (Nebelwarnanlage A8, Baden-Württemberg)

Um die reduzierte Anzahl der Harmonisierungseingriffe zu validieren, wird neben dem Querschnitt an der A8 ein weiterer Messquerschnitt herangezogen. Dieser befindet sich auf der A92 zwischen AS Eching Ost und AS Freising in Fahrtrichtung Stuttgart und dient u.a. als Zubringer für den Flughafen. Die folgende Abbildung zeigt für diesen dreistreifigen MQ mit SBA die durchschnittlichen Tagesganglinien für die definierten Zeiträume der Pandemie.

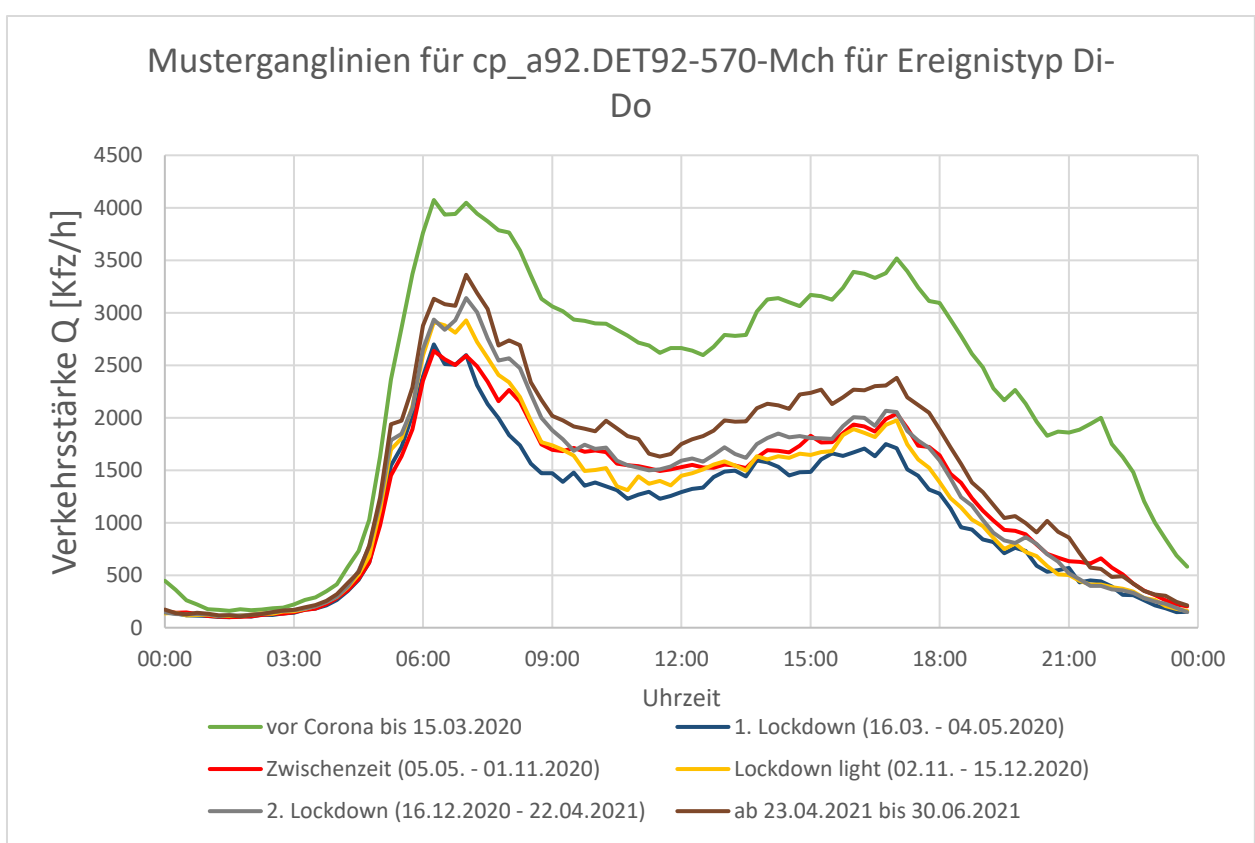


Abbildung 6-38 Tagesganglinien des MQ cp_a92.DET92-570-Mch der A92 für unterschiedliche Zeiträume mit Bezug zur Corona-Pandemie

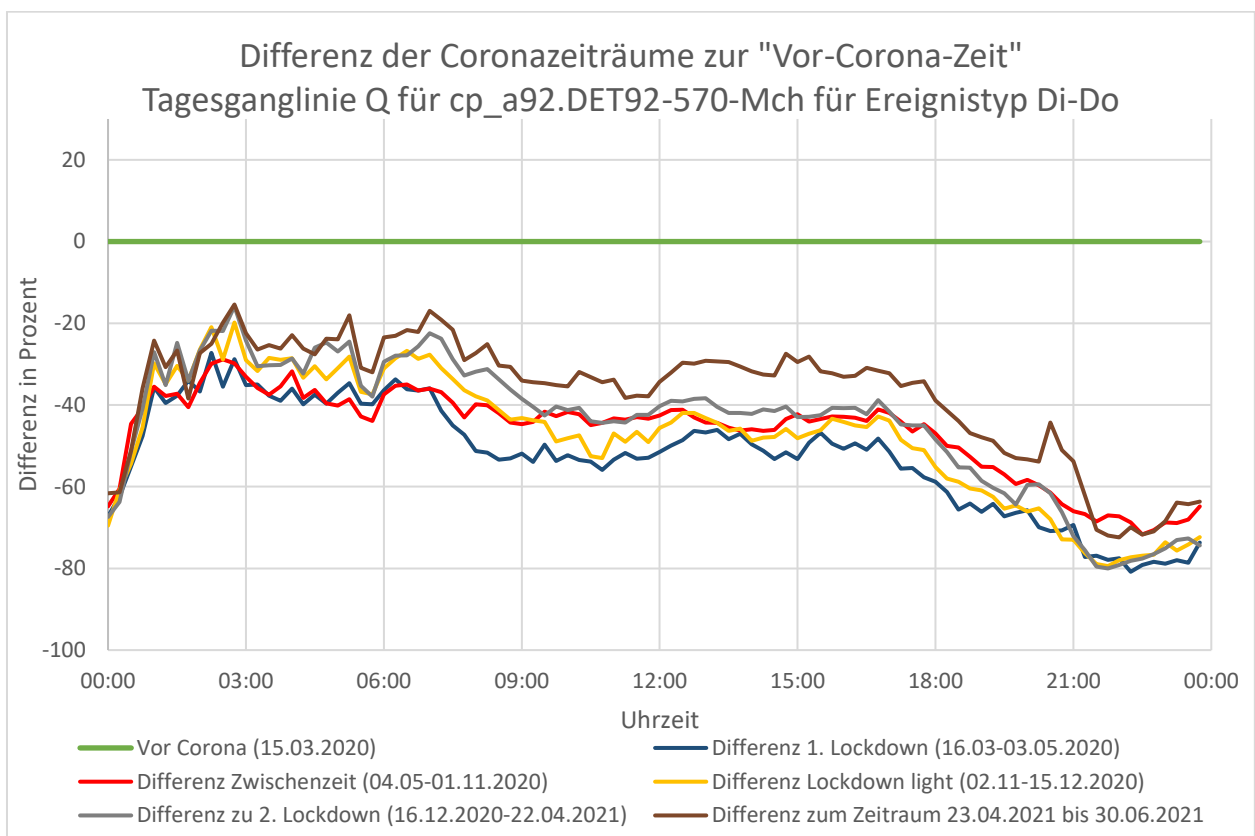


Abbildung 6-39 Prozentuale Abweichungen der vordefinierten Zeiträume im Vergleich zur „Vor-Corona-Zeit“ für den MQ cp_a92.DET92-570-Mch an der A92 in Bayern

Zu Beginn des ersten Lockdowns und der damit verbundenen Kontaktbeschränkung lässt sich ebenfalls deutlich sichtbar der Rückgang des Verkehrsaufkommens in der Tagesganglinie des MQ der A92 erkennen. Im Gegensatz zum MQ auf der A8 bleiben die folgenden Zeiträume nach dem ersten Lockdown aber auf einem ähnlichen, niedrigen Niveau. Die Verläufe des ersten Lockdowns, der Zwischenzeit, des Lockdowns light, des 2. Lockdowns sowie des Zeitraums zwischen dem 23.04.2021 und dem 30.06.2021 sind nahezu deckungsgleich, was sich auch in den prozentualen Abweichungen im nachfolgenden Diagramm wiedererkennen lässt, wobei der Verkehr in der Chronologie der verschiedenen Zeiträume leicht zunimmt.

Wie auch für den MQ der A8 in Baden-Württemberg lässt sich hier für den ersten Lockdown ein Rückgang von ca. 50 % verzeichnen. Jedoch nimmt der Verkehr nach dem ersten Lockdown wie zuvor erwähnt nicht wieder zu und bleibt gering. Grund für das dauerhaft niedrige Verkehrsaufkommen auf dem MQ der A92 kann z.B. die Funktion der Autobahn als Zubringer für den Flughafen in München sein, da coronabedingt der Flugverkehr stark eingeschränkt ist und damit auch die Nachfrage der Verbindungsfunktion der Strecke für den Flughafen reduziert ist.

Am Standort A92 beim Flughafen München gehen die Harmonisierungsschaltungen im Zeitbereich des Lockdowns deutlich zurück. Vor dem Lockdown waren in einem Zeitanteil von 25,9% Geschwindigkeitsschaltungen aktiv, bei einem Anteil von 12,5% gleichzeitiger Gefahrenwarnungen, was einen maximalen Harmonisierungsanteil von 12,9% ergibt. Im ersten Lockdown ist nur noch in einem Zeitbereich von 7,9% eine Geschwindigkeitsschaltung aktiv (davon 7,1% mit Gefahrenwarnung), was zu einem maximalen Harmonisierungsanteil von 0,8% führt. Ab November 2020 wurde die Schaltstrategie angepasst, sodass in einem überwiegenden Zeitanteil eine Geschwindigkeitsbeschränkung von 130 km/h angezeigt wurde.

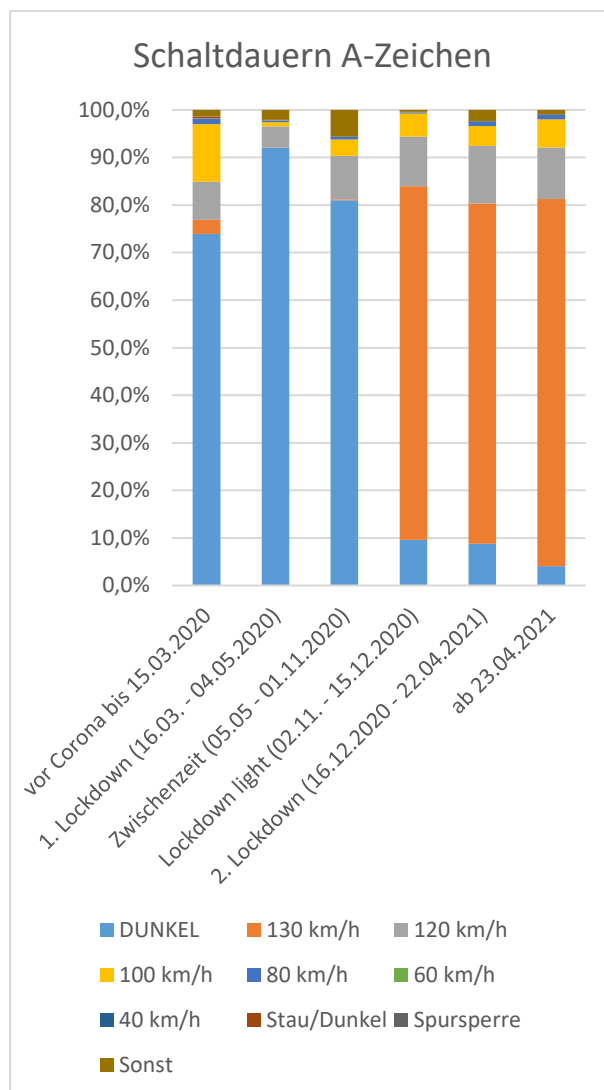


Abbildung 6-40 Zeitanteil von Schaltungen des WVZ A am Standort DET92-570 (SBA A92, Bayern, Bereich Flughafen München)

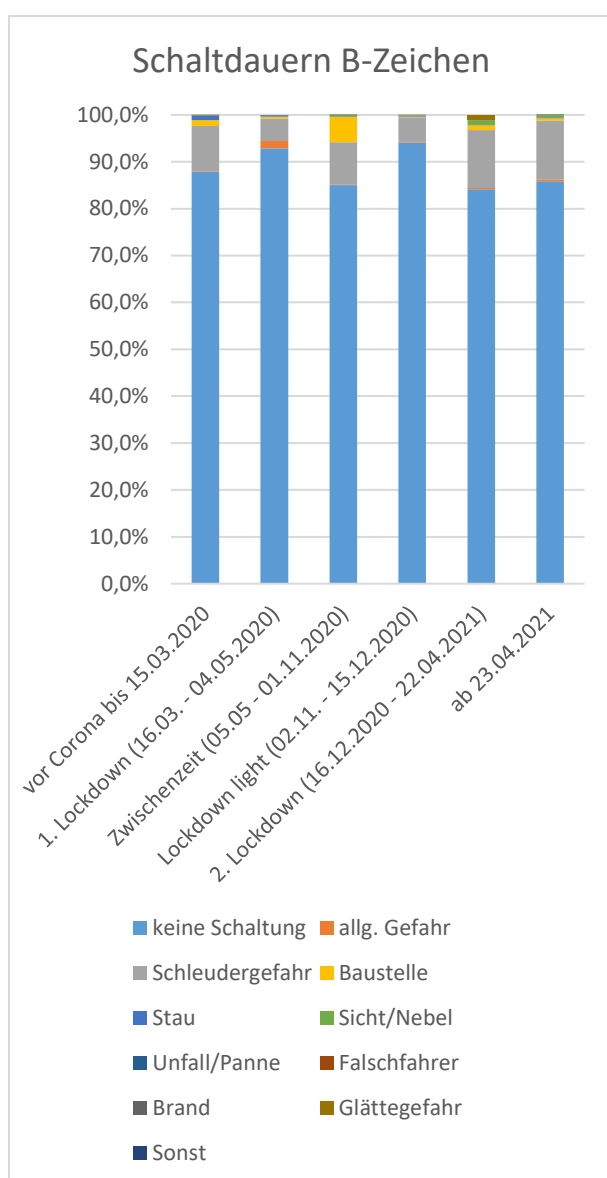


Abbildung 6-41 Zeitanteil von Gefahrenwarnungen im WVZ B am Standort DET92-570 (SBA A92, Bayern, Bereich Flughafen München)

6.4 Konzeptionelle Überlegungen zur Optimierung witterungsbedingter Maßnahmen

Die statistischen Auswertungen, insbesondere die Thesen T1-3 (Einfluss von Niederschlag auf den Verkehrsablauf), T1-4 (Einfluss der Dunkelheit auf den Verkehrsablauf) sowie T1-3b (Einfluss von eingeschränkter Sicht auf den Verkehrsablauf), haben gezeigt, dass Witterungseinflüsse signifikante Wirkungen auf das Fundamentaldiagramm haben. Die gefahrenen Geschwindigkeiten reduzieren sich, die Verkehrsstärken bei idealen Verhältnissen werden nicht mehr erreicht. Das bedeutet, dass die Schwellenwerte zur Klassifizierung von Verkehrszuständen

bei widrigen Witterungsverhältnissen ebenfalls signifikant von den Schwellenwerten bei idealen Bedingungen abweichen. Dies könnte und sollte bei der Parametrierung der Verkehrsbeeinflussungsanlage berücksichtigt werden.

Klassische Situationserkennungsverfahren nach MARZ sehen allerdings nur einen Parametersatz pro Messquerschnitt vor, der unabhängig von verschiedenen Witterungsbedingungen generell gilt. Somit ist die Berücksichtigung der Witterungsverhältnisse bei den verkehrlich bedingten Situationserkennungsverfahren nach MARZ nicht ohne weitere Modifikationen möglich.

Allerdings existieren in der Praxis bereits Situationserkennungsverfahren, die den Einfluss der Witterung berücksichtigen. Diese werden nachfolgend kurz vorgestellt, bevor im Anschluss daran ein mögliches Konzept zur Berücksichtigung des Witterungseinflusses in den MARZ-Verfahren zur Bestimmung des Verkehrszustands beschrieben wird.

6.4.1 Harmonisierung im SARAH-Steuerungsmodell

Die Harmonisierung gemäß dem SARAH-Steuerungsmodell wird in Hessen im jahrzehntelangen Regelbetrieb erfolgreich angewendet. Zum Einsatz kommt ein schwellenwertbasiertes Situationserkennungsverfahren, das gemäß dem Fundamentaldiagramm auf Basis der Kenngrößen Geschwindigkeit und Dichte Verkehrszustände differenziert und mit Geschwindigkeitsvorgaben (120 km/h, 100 km/h und 80 km/h) verknüpft. Das Verfahren ist auf Eingangsdaten in 15s-Intervallen ausgelegt. Als zusätzliche Einschaltbedingung müssen für 2 aufeinander folgende Intervalle die Einschaltbedingungen erfüllt sein. Die Witterungsbedingungen (hier: Nässe und Dunkelheit) werden über sog. Abschlagsfaktoren für die Dichteschwellenwerte berücksichtigt, d.h. das Verfahren wird für ideale Bedingungen parametrierung und im Falle von Nässe, Dunkelheit oder beidem werden die Dichteschwellenwerte mit einem Abschlagsfaktor multipliziert.

Eine zusätzliche Besonderheit des Verfahrens liegt darin, dass fahrstreifenbezogen operiert und auch fahrstreifenbezogene Geschwindigkeitsvorgaben generiert werden.

6.4.2 INCA+

Das Steuerungsmodell INCA wurde im Rahmen eines europäischen Forschungsprojektes (COR-VETTE) entwickelt und kam in Nord- und Südbayern zum Einsatz. Im Anschluss an das Forschungsprojekt wurde INCA um die Module SpurStau, Lkw-ÜV, Witterung und TSF (INCA+) ergänzt. Dazu wurden in INCA+ unter anderem die in den „Hinweisen zur Erfassung und Nutzung von Umfelddaten in Streckenbeeinflussungsanlagen“ (FGSV, 2017) beschriebenen Situationserkennungsverfahren für Nässe und eingeschränkte Sicht integriert. Mittels einer Zielfunktion werden die Zuordnung der Schaltstufen in der Nässematrix bzw. die Ein- und Ausschaltgrenzwerte der Sichtweitenstufen mit den Zielgrößen „Reisezeit“ und „Verkehrssicherheit“ anhand von historischen Daten optimiert.

6.4.3 AIX-ProB

Der Algorithmus AIX-ProB wurde im Rahmen einer Dissertation (SCHWIETERING, 2010) entwickelt und anhand von Offline-Daten evaluiert. Derzeit wird der Algorithmus in das Verkehrsmanagementsystem VMIS 2.0 der ASFINAG (Österreich) für den Regelbetrieb implementiert.

Das Verfahren ermittelt unter Berücksichtigung unterschiedlicher Einflussfaktoren auf den Verkehrsablauf (hier: Nässe, Dunkelheit, eingeschränkte Sicht, überwiegender Freizeit- oder Berufsverkehr) das aktuelle Risiko eines Geschwindigkeitseinbruchs und schlägt je nach Risikoklasse eine querschnittsbezogene Geschwindigkeitsbeschränkung vor.

Durch die laufende Berücksichtigung historischer Daten in den querschnittsbezogenen, je Ereigniskombination hinterlegten Risikokurven (Nässe, Dunkelheit, etc.) benötigt der Algorithmus keine standortspezifische Parametrierung, sondern lediglich eine systemweite bzw. streckenbezogene Vorgabe zur Risikoklassifizierung und Zuordnung von Geschwindigkeitsbeschränkungen.

6.4.4 Konzept zur Berücksichtigung des Witterungseinflusses in MARZ-Verfahren zur Bestimmung des Verkehrszustands

Die Auswertung der Thesen T1-3 (Einfluss von Niederschlag auf den Verkehrsablauf), T1-4 (Einfluss der Dunkelheit auf den Verkehrsablauf) sowie T1-

3b (Einfluss von eingeschränkter Sicht auf den Verkehrsablauf) haben ergeben, dass sich Nässe oder eingeschränkte Sicht signifikant auf den Verkehrsablauf und damit auf das Fundamentaldiagramm auswirken, während die Dunkelheit keinen signifikanten Einfluss besitzt. Die Untersuchungsergebnisse belegen, dass im Falle von Nässe oder eingeschränkter Sichtweite die mittleren gefahrenen Geschwindigkeiten im Fundamentaldiagramm im Vergleich zu idealen Witterungsbedingungen sinken und nicht mehr so hohe Verkehrsstärken gemessen werden, bevor es zu einem Zusammenbruch des Verkehrsablaufs kommt. Die Arbeitspunkte des Fundamentaldiagramms, um Verkehrszustände zu differenzieren, sind alle bei Nässe und eingeschränkter Sichtweite verschoben. Daher erscheint es sinnvoll, ähnlich wie in den Ansätzen des SA-RAH-Steuerungsmodells und des Situationserkennungsverfahrens AIX-ProB die Parameter zur Harmonisierung des Verkehrsflusses bei widrigen Witterungsbedingungen anzupassen.

In den angewendeten Steuerungsmodellen in der Praxis können Situationserkennungsverfahren in der Regel nur mit genau einem Parametersatz pro Standort laufen. Das bedeutet, dass die Harmonisierungsparameter pro Standort zeitlich konstant sind. Es besteht allerdings beispielsweise in den SBA-Unterzentralen der Nutzer der einheitlichen Rechnerzentralensoftware für Verkehrsrechnerzentralen – NERZ e.V. (NERZ e.V.) (z.B. Baden-Württemberg) die Möglichkeit, Ursacheneinheiten miteinander zu verknüpfen. Ursacheneinheiten stellen eine Konfigurationseinheit aus auslösenden Messquerschnitten (i.d.R. einer) für ein Situationserkennungsverfahren und Zuordnung des Anzeigequerschnitts, auf dem die aus der Maßnahme resultierende Schaltung angezeigt werden soll, dar. So können beispielsweise zwei oder mehrere einzelne Ursacheneinheiten durch eine UND oder ODER Bedingung verknüpft werden. Wenn also für zwei räumlich aufeinanderfolgende Messquerschnitte MQ_a und MQ_{a+1} für sich eine Harmonisierungs-Ursacheneinheit der Stufe 100 km/h mit einer Verknüpfung des jeweils stromabwärts liegenden Anzeigequerschnitts konfiguriert sind, so könnte durch eine UND-Verknüpfung dieser beiden einzelnen Ursacheneinheiten zu einer räumlich ausgedehnten Maßnahme führen. Beispielsweise könnte das Schaltbild dann nicht nur auf den AQ_{a+1} und AQ_{a+2}

angelegt werden, wie es die beiden einzelnen Ursacheneinheiten für sich tun würden, sondern auch der auf die lokale Verdichtung zufahrenden Verkehr bereits am AQ_a mit einer Schaltung beeinflusst werden. Eine solche Konfiguration wird derzeit in Baden-Württemberg erfolgreich betrieben.

Genau diese Verknüpfung von Ursacheneinheiten kann auch bei der Berücksichtigung der Witterungsbedingungen bei Harmonisierungsschaltungen genutzt werden. Dazu werden neben den bereits vorhandenen Harmonisierungs-Ursacheneinheiten so-

wie den Ursacheneinheiten zur Nässe- und Nebelsteuerung zusätzliche spezielle Harmonisierungs-Ursacheneinheiten konfiguriert, die jeweils mit einer Nässe- bzw. Nebel-Ursacheneinheit UND-verknüpft werden. Für diese speziellen Harmonisierungs-Ursacheneinheiten können dann spezifische Parameter hinterlegt werden, die auf das Fundamentaldiagramm bei Nässe oder eingeschränkter Sichtweite abgestimmt sind. Tabelle 6-28 zeigt eine beispielhafte Konfiguration für eine spezielle Harmonisierung bei Nässe.

Tabelle 6-28 Beispielhafte Konfiguration für eine spezielle Harmonisierung bei Nässe (Einzel-Ursacheneinheiten)

Einzel-Ursacheneinheiten				
Ursacheneinheit	Messquerschnitte	Anzeigequerschnitte (Haupttrichter)	Schalbild (Haupttrichter)	Bemerkung
HARMO120	MQ_i	AQ_{i+1}	120 km/h	
HARMO100	MQ_i	AQ_{i+1}	100 km/h	
HARMO80	MQ_i	AQ_{i-1}	80 km/h	
NASS1	$UDE(NI,WFD)_i$	AQ_{i-1}, AQ_i, AQ_{i-1}	120 km/h	Der NI und WFD Sensor am Standort i sei repräsentativ für die Standorte i-1 und i+1
NASS2	$UDE(NI,WFD)_i$	AQ_{i-1}, AQ_i, AQ_{i-1}	100 km/h, Schleudergefahr	
NASS3	$UDE(NI,WFD)_i$	AQ_{i-1}, AQ_i, AQ_{i-1}	80 km/h, Schleudergefahr	
NASS4	$UDE(NI,WFD)_i$	AQ_{i-1}, AQ_i, AQ_{i-1}	60 km/h, Schleudergefahr	
SICHT1	$UDE(SW)_i$	AQ_{i-1}, AQ_i, AQ_{i-1}	120 km/h	Der SW Sensor am Standort i sei repräsentativ für die Standorte i-1 und i+1
SICHT2	$UDE(SW)_i$	AQ_{i-1}, AQ_i, AQ_{i-1}	100 km/h, Achtung, Text "SICHT"	
SICHT3	$UDE(SW)_i$	AQ_{i-1}, AQ_i, AQ_{i-1}	80 km/h, Achtung, Text "SICHT"	
SICHT4	$UDE(SW)_i$	AQ_{i-1}, AQ_i, AQ_{i-1}	60 km/h, Achtung, Text "SICHT"	
HARMO120NASS	MQ_i	AQ_{i+1}	kein Schalbild	neu
HARMO100NASS	MQ_i	AQ_{i+1}	kein Schalbild	neu
HARMO80NASS	MQ_i	AQ_{i-1}	kein Schalbild	neu
HARMO60NASS	MQ_i	AQ_{i-1}	kein Schalbild	neu
HARMO120SICHT	MQ_i	AQ_{i+1}	kein Schalbild	neu
HARMO100SICHT	MQ_i	AQ_{i+1}	kein Schalbild	neu
HARMO80SICHT	MQ_i	AQ_{i-1}	kein Schalbild	neu
HARMO60SICHT	MQ_i	AQ_{i-1}	kein Schalbild	neu

Tabelle 6-29 Beispielhafte Konfiguration für eine spezielle Harmonisierung bei Nässe (Verknüpfung von Ursacheneinheiten)

Verknüpfung von Ursacheneinheiten am Standort i				
Ursacheneinheit 1	Ursacheneinheit 2	Verknüpfung	Schalbild (Haupttrichter)	Bemerkung
HARMO120NASS(i)	NASS1(i)	UND	120 km/h	neu
HARMO100NASS(i)	NASS2(i)	UND	100 km/h	neu
HARMO80NASS(i)	NASS3(i)	UND	80 km/h	neu
HARMO60NASS(i)	NASS4(i)	UND	60 km/h	neu
HARMO120SICHT(i)	SICHT1(i)	UND	120 km/h	neu
HARMO100SICHT(i)	SICHT2(i)	UND	100 km/h	neu
HARMO80SICHT(i)	SICHT3(i)	UND	80 km/h	neu
HARMO60SICHT(i)	SICHT4(i)	UND	60 km/h	neu

Die Harmonisierungs-Parameter bei Nässe oder eingeschränkter Sichtweite können grundsätzlich standortspezifisch angepasst und optimiert werden. Damit ergibt sich allerdings eine Verdreifachung der Harmonisierungs-Parameter und damit ein deutlich

erhöhter Pflegeaufwand. Alternativ zur individuellen Optimierung können, ähnlich wie beim SARAH-Steuerungsmodell die für ideale Witterungsbedingungen optimierten standortspezifischen Parameter mit entsprechenden Abschlagsfaktoren belegt

werden. Die Größenordnung dieser Abschlagsfaktoren sollte über repräsentative Fundamentaldia-gramme abgeleitet werden. Dabei ist zu beachten, dass aufgrund der selten auftretenden Nebelereig-nisse ein entsprechend langer Zeitraum historischer Daten ausgewertet werden muss. Aus dieser Unter-suchung ergeben sich beispielhaft für die Gruppe 4 die Abschlagsfaktoren gemäß Tabelle 6-30.

Tabelle 6-30 Abschlagsfaktoren der Harmonisierungsparameter bei Nässe oder eingeschränkter Sicht für die MQ-Gruppe 4

Kenngröße	Nässe	geringe Sichtweite
Q_{Kfz} [Pkw-E/h]	-17%	-23%
V_{Pkw} [km/h]	-14%	-12%
D [Kfz/km]	-14%	25%
<i>Zum Vergleich: Abschlagsfaktor nach SCHWIETERING (2010)</i>	-14%	-20%

7 Fazit und Ausblick

Die Witterung hat einen bedeutenden Einfluss auf das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer und damit auch auf den Verkehrsablauf. Da widrige Witterungsbedingungen in der Regel zeitlich beschränkt und vergleichsweise selten auftreten, gab es bislang wenig verfügbare statistisch abgesicherte Erkenntnisse zur Wirkung von Witterungsereignissen auf den Verkehrsablauf sowie zur Wirksamkeit von Streckenbeeinflussungsanlagen bei widrigen Witterungsbedingungen.

Daher wurden für 22 Messquerschnitte in Streckenbeeinflussungsanlagen und 11 unbeeinflusste Messquerschnitte, verteilt auf fünf Bundesländer, für den Zeitraum von zwei Jahren Verkehrsdaten gesammelt und um Umfelddaten sowie Schaltdaten ergänzt. Zur Analyse wurden 38 sog. Standorte gebildet (s. Anhang 8), für welche Verkehrs-, Umfeld- und ggf. Schaltdaten zugeordnet wurden. Zu den Standorten wurden Merkmale wie Streifigkeit, verkehrliche Funktion des Streckenabschnitts oder Fahrbahnoberflächenmaterial als sog. Metadaten zugeordnet und in einer Datenbank abgelegt. Der gewählte datenbankbasierte Ansatz hat sich als sehr gut geeignet für die anstehende Aufgabenstellung herausgestellt.

Aus den Auswertungen heraus sind insbesondere folgende Thesen so relevant, dass sich hieraus konkretes Optimierungspotenzial für die Steuerung von Streckenbeeinflussungsanlagen auf Basis von witterungsbedingten Ereignissen ziehen lassen:

- **Wirkungsthese:**
 - **These 1-2a:** bei geringer Verkehrsstärke (ohne maßgebliche Interaktionen zwischen Verkehrsteilnehmern) sinkt bei Niederschlag die Standardabweichung der Geschwindigkeit aufgrund des verstärkten Sicherheitsbedürfnisses der Verkehrsteilnehmer.
 - **These 1-8:** Bei Niederschlag sinkt, ebenfalls aufgrund des verstärkten Sicherheitsbedürfnisses der Verkehrsteilnehmer, die gefahrene mittlere Geschwindigkeit.
 - **These 1-3:** Nässeereignisse wirken sich signifikant sowohl auf die gefahrenen Geschwindigkeiten als auch auf die maximal erreichbare Verkehrsstärke aus, sodass sich im Vergleich zu trockenen Witterungsbedingungen ein signifikant anderes Fundamentaldiagramm einstellt.
- **These 1-4:** Dunkelheit wirkt sich nicht verstärkend auf ein Niederschlagsereignis und damit signifikant auf das Fundamentaldiagramm aus.
- **These 1-3b:** Geringe Sichtweite wirkt sich signifikant sowohl auf die gefahrenen Geschwindigkeiten als auch auf die maximal erreichbare Verkehrsstärke aus, sodass sich im Vergleich zu guten Sichtbedingungen ein signifikant anderes Fundamentaldiagramm einstellt.
- **These 3-1a:** bei geringer Verkehrsstärke (ohne maßgebliche Interaktionen zwischen Verkehrsteilnehmern) sinkt bei geringer Sichtweite die Standardabweichung der Geschwindigkeit aufgrund des verstärkten Sicherheitsbedürfnisses der Verkehrsteilnehmer.
- **Wirksamkeitsthese:**
 - **These 3-9a:** Bei Nebelereignissen wirkt die SBA, indem durch eine entsprechende Schaltung die Standardabweichung der Geschwindigkeit im Vergleich zu unbeeinflusstem Verkehr reduziert wird.
 - **These 3-8:** Bei Nebelereignissen wirkt die SBA, indem durch eine entsprechende Schaltung die mittlere gefahrene Geschwindigkeit im Vergleich zu unbeeinflusstem Verkehr reduziert wird, auch wenn die Befolgung insbesondere bei restriktiven Schaltungen gering ist.
 - **These 1-9a:** Bei Nässe wirkt die SBA, indem durch eine entsprechende Schaltung die Standardabweichung der Geschwindigkeit im Vergleich zu unbeeinflusstem Verkehr reduziert wird.
 - **These 1-13:** Bei Nässe wirkt die SBA, indem durch eine entsprechende Schaltung die mittlere gefahrene Geschwindigkeit im Vergleich zu unbeeinflusstem Verkehr reduziert wird, auch wenn die Befolgung mit zunehmend restriktiven Schaltungen zurückgeht.

- **These 1-10:** Eine Geschwindigkeitsschaltung bei Niederschlag verstärkt die Harmonisierung im Vergleich ohne Schaltung.
- **These 1-11:** Im Falle einer SBA ist der Harmonisierungseffekt (hier ausgedrückt als Abweichung der mittleren Geschwindigkeit von der angezeigten Geschwindigkeit der SBA) einer Geschwindigkeitsschaltung bei trockenen Witterungsbedingungen größer als bei einer Geschwindigkeitsschaltung bei Nässe.

Für die **Wirkungsthese 3-6** konnte aufgrund unterschiedlicher Ergebnisse der einzelnen MQ-Gruppen kein eindeutiges Fazit gezogen werden.

Aufbauend auf den Auswertungen der Thesen wurde beispielhaft für die Streckenbeeinflussungsmaßnahme „Harmonisierung des Verkehrsablaufs“ untersucht, wie die Erkenntnisse zur Optimierung dieser Maßnahme beitragen können. Dazu wurde ein Konzept entwickelt, welches in bestehende Streckenbeeinflussungsanlagen nach MARZ integriert werden kann. Das Konzept sieht vor, in Zeiten von Nässeereignissen oder geringer Sichtweite die Schwellenwerte für die Ein- und Ausschaltbedingungen für die „Harmonisierung des Verkehrsablaufs“ anzupassen. Um den Pflegeaufwand der Parameter nicht durch zusätzliche Parametersätze deutlich zu erhöhen, bietet es sich an, Abschlagsfaktoren auf die bereits vorhandenen Parametersätze für ideale Witterungsbedingungen einzusetzen. Die aus den Ergebnissen der Thesenauswertung identifizierten Abschlagsfaktoren für Nässeereignisse oder Ereignisse mit geringer Sichtweite decken sich mit den aus der Literatur bekannten Größenordnungen.

Die für die Auswertung zur Verfügung stehenden Daten erstrecken sich über den Zeitraum vom 01.07.2019 bis zum 30.06.2021. Dieser Zeitraum fällt damit teilweise in den Zeitraum der COVID 19 Pandemie, sodass die Verkehrsnachfrage vor allem während der Lockdown-Perioden deutlich von den normalerweise erwarteten Werten abgewichen ist. Für die Analyse der Wirkung widriger Witterungsbedingungen auf den Verkehrsablauf war der Einfluss der COVID 19 Pandemie allerdings weitgehend unproblematisch, da sowohl die Wirkungen als auch die Wirksamkeit von SBA-Maßnahmen nur dann

eindeutig auf die vorherrschenden Witterungsbedingungen zurückzuführen sind, wenn der Verkehr nicht durch kapazitätsauslastungsbedingte Effekte (keine freie Geschwindigkeitswahl, vermehrtes Interagieren mit Fahrzeugen in der Nähe) beeinflusst ist. Zur Analyse pandemiebedingter Effekte auf die Nachfrage sowie die Schalthäufigkeiten von SBA (bedingt durch die veränderte Nachfrage) wurden beispielhaft zwei Standorte in Baden-Württemberg und Bayern ausgewertet. Während sich am Standort in Baden-Württemberg die Verkehrsnachfrage jeweils nach den Lockdown-Perioden immer wieder auf einen ähnlichen Stand wie vor der Pandemie zurückentwickelte, blieb die Verkehrsnachfrage am Standort in Bayern weitgehend konstant auf dem Niveau während des ersten Lockdowns und damit ca. 50% unter der normalen Nachfrage. Der Grund hierfür liegt in der Funktion des Streckenabschnitts als Zubringer zum nahegelegenen Flughafen München. Die Anzahl der verkehrlich bedingten SBA-Schaltungen blieb am Standort in Baden-Württemberg auch während der Lockdown-Perioden weitgehend gleich, da die errichtete SBA weitgehend als Nebelwarnanlage geplant war und dort keine regelmäßigen Überlastungen auftreten. Demgegenüber reduzierten sich die SBA-Schaltungen am Standort in Bayern signifikant aufgrund der deutlich reduzierten Verkehrsnachfrage und dem damit verbundenen geringeren Überlastungsrisiko.

Die Untersuchung konzentrierte sich auf den Aufbau einer Auswertemethodik zur Analyse der witterungsbedingten Einflüsse auf den Verkehrsablauf sowie zur Untersuchung der Wirksamkeit von SBA-Maßnahmen bei widriger Witterung. Beispielhaft wurden dazu einige der aufgestellten Thesen untersucht sowie basierend auf diesen Erkenntnissen ein Konzept der Optimierung der Harmonisierungsschaltungen von SBA erarbeitet. Die vorliegende Datenbasis sowie das Auswertekonzept können zu den weiterführenden Analysen und Forschungsarbeiten verwendet werden. Auch seltene Witterungsereignisse wie Schneefall oder vereiste Fahrbahnen können aufgrund der für zwei Jahre vorliegenden Daten untersucht werden, wenngleich es sinnvoll erscheint, die Datenbasis um weitere Winterperioden zu ergänzen. Die technischen Möglichkeiten zur Erweiterung der Datenbasis sind mit den vorliegenden Ergebnissen gegeben.

In einem nächsten Schritt erscheint es zielführend, die Erkenntnisse einerseits in die vorhandenen Wissensdokumente zur Umfelddatenerfassung im Kontext mit Streckenbeeinflussungsanlagen einfließen zu lassen. Andererseits sollte in der Praxis validiert werden, ob sich die Erkenntnisse sowie Optimierungsvorschläge so bestätigen und somit einen wesentlichen Baustein künftiger hoch wirksamer witterungsbedingter Schaltungen von SBA sein können.

Dabei sollte in mehreren Stufen z. B. wie folgt vorgegangen werden:

- **Schritt 1:** Identifikation von 2 bis 3 SBA, bei denen eine Umsetzung der algorithmischen Anpassungen erfolgen kann
- **Schritt 2:** Validierung und Konkretisierung der Empfehlungen zur Anpassung der betroffenen Schaltprogramme und zugehörigen Parameter auf Basis der verfügbaren historischen Daten, indem die Algorithmen in die Datenbank implementiert und anhand der hiermit erreichbaren Schaltergebnisse optimiert werden – getrennt nach den verschiedenen Programmen / Witterungsereignissen
- **Schritt 3:** Implementierung der Algorithmen mit den vorab optimierten Parametern in die unter Schritt 1 ausgewählten SBA sowie in die VADb zur Auswertung
- **Schritt 4:** Sammlung und Darstellung der Daten und Schaltungen in der Datenbank über einen Zeitraum von mindestens 6 Monaten, ggf. auch 1 Jahr
- **Schritt 5:** Anwendung der in der VADb verfügbaren für diese Zwecke weiter zu entwickelnden Auswertemethodik zur Thesensvalidierung für die optimierten Programme / Schaltungen sowie Abgleich mit den Ergebnissen der Validierung vor der Optimierung

Als Ergebnis entstehen valide Erkenntnisse hinsichtlich der Wirkung und Akzeptanz von SBA bei Witterungsereignissen.

Weiterhin eignet sich die erstellte Datenbank zur Analyse der Schaltungen und Wirkungen der schon implementierten sowie ggf. von weiteren Streckenabschnitten.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, die generelle Zuverlässigkeit der Sensorik (Ausfallquoten,

Wertestreuung etc.) auf Basis der Datenbank zu bewerten.

Die durchgeführten Auswertungen konzentrierten sich auf die Wirkung des Verkehrsablaufs bzw. die Wirksamkeit einer witterungsbedingten SBA-Schaltung lokal an einem Standort. Die Datenbank ist aber so vorbereitet, dass auch ein Streckenbezug betrachtet werden kann. Dazu wurde in Kapitel 3.2.2 ein Konzept erarbeitet, um die Wirksamkeit einer witterungsbedingten SBA-Schaltung eines Anzeigequerschnitts am stromabwärts liegenden Messquerschnitt zu untersuchen. Trotz des Umstands, dass bei vielen der für die Untersuchung verfügbaren Standorte der Messquerschnitt am Ort des Anzeigequerschnitts positioniert ist, liegen einige Standorte mit einem für diese Untersuchung notwendigen räumlichen Versatz vor. Eine solche Untersuchung mit Berücksichtigung des Streckenbezugs könnte weitere wichtige Erkenntnisse für die Analyse der Wirksamkeit von SBA-Maßnahmen mit sich bringen.

Die vorliegende Untersuchung leistet einen wichtigen Beitrag hinsichtlich der Analyse der Witterungseinflüsse auf den Verkehrsablauf. Zahlreiche vermutete und erwartete Zusammenhänge konnten mit dieser Studie statistisch abgesichert werden und stehen der Praxis zur Optimierung der Verkehrsbeeinflussung zur Verfügung. Die erarbeitete Daten- und Auswertebasis kann als Grundlage für weitere Untersuchungen des Witterungseinflusses auf den Verkehrsablauf eingesetzt werden.

Literatur

- Agarwal, M., Maze, T. H., Souleyrette, R. R., 2005. The Weather and its Impact on Urban Freeway Traffic Operations, 85th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington D.C.
- Appel, H., 1977. Möglichkeiten und Grenzen von örtlichen Unfallerehebungen. Symposium 77, Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr 4.
- Badelt, H., Eimermacher, S., 2020. Neue Sensorbauarten für Straßenwetterstationen. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach
- Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), 1997. Richtlinien für Wechselverkehrszeichenanlagen an Bundesfernstraßen (RWVZ), Verkehrsblatt 1997.
- Bundesanstalt für Straßenwesen BASt 2002. Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen. Bundesanstalt für Straßenwesen BASt (Hrsg.), Bergisch Gladbach.
- Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) 2018. Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen (MARZ). Bergisch Gladbach: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- Bertness, J., 1980. Rain related impacts on selected transportation activities and utility services in the Chicago area. *Journal of Applied Meteorology* 19.
- Bluman, A. G., 2009. *Elementary Statistics – A Step by Step Approach* (7. Edition). McGraw-Hill - Education
- Cleff, T., 2019. *Angewandte Induktive Statistik und Statistische Testverfahren*. DOI 10.1007/978-3-8349-6973-6
- Coers, H. G., 1970. Grundlegende Ergebnisse makroskopischer Untersuchungen des Verkehrsflusses nach dem räumlich-zeitlichen Prinzip, *Die Straße* Band 9, S. 474-479
- Debus, G., Heller, D., Wille, M., Dütschke, E., Normann, M., Placke, L., Wallentowitz, H., Neunzig, D., Benmimoun, A., 2005. Risikoanalyse von Massenfällen bei Nebel. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen*, Heft M 169, Bergisch Gladbach.
- Dinkel, A. M., 2013. Nutzung fahrzeuggenerierter Daten zur Ermittlung des witterungsbedingten Fahrbahnzustands in Streckenbeeinflussungsanlagen. Dissertation, Technische Universität München, Deutschland.
- Dinkel, A., Leonhardt, A., Busch, F., 2008. Umfelddatenerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen, Testfeld "Eching Ost" des Bundes. Abschlussbericht 3. Testphase, München.
- Erke, H., Zimolong, B., 1978. Verkehrskonflikte im Innerortsbereich. *Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr* 15.
- FGSV; Arbeitsgruppe Verkehrsmanagement; Arbeitsausschuss Winterdienst, 2019; Hinweise für Planung, Einrichtung und Betrieb von Straßenzustands- und Wetterinformationssystemen. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V.
- FGSV, 2017. Hinweise zur Erfassung und Nutzung von Umfelddaten in Streckenbeeinflussungsanlagen. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V.
- FGSV, 2010. Hinweise zur Erfassung und Nutzung von Umfelddaten in Streckenbeeinflussungsanlagen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag, Köln
- Grimm, J., 2009. Untersuchung zum Einsatzbereich von Steuerverfahren für Streckenbeeinflussungsanlagen. Dresden: Technische Universität Dresden.
- Grošanić, S., Piszczek, S., 2010. Umfelddatenerfassung in Verkehrsbeeinflussungsanlagen. *Straßenverkehrstechnik*, (2), 91-96.
- Haslwanter, T., 2016. *An Introduction to Statistics with Python*. DOI 10.1007/978-3-319-28316-6
- Haug, A., 2016. Umfelddatenerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen, Testfeld "Eching Ost" des Bundes. Abschlussbericht 11. Testphase, München
- Hedderich, J., Sachs, L., 2020. *Angewandte Statistik – Methodensammlung mit R*. 17. Auflage. DOI 10.1007/978-3-662-62294-0
- Herz, R., Schlichter, H., Siegener, W.: *Angewandte Statistik für Verkehrs- und Regionalplaner*, Werner-Verlag, Düsseldorf 1992
- Hranac, R., Sterzin, E., Krechmer, D., Rakha, H., Farzaneh, M., 2006. *Empirical Studies on Traffic Flow in Inclement Weather*, Publication No. FHWA-

- HOP-07-073. U.S. Department of Transportation (Hrsg.), Cambridge, USA
- Hoffmann, Arend, Gast, Schwencke, Zmeck, 1984. Witterungsbedingte Veränderungen der Verkehrssicherheit und des Verkehrsablaufs auf innerstädtischen Autobahnen und Hauptverkehrsstraßen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, 409.
- Kappich, G., Westermann, C., Schmitz, R., 2010. Echtzeitbeurteilung und -optimierung der Wirksamkeit von Streckenbeeinflussungsanlagen Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1040.
- Katz, B., Ma, J., Rigdon, H., Sykes, K., Huang, Z., Raboy, K., & Chu, J., 2017. Synthesis of variable speed limit signs. United States. Federal Highway Administration.
- Klotz, S., 2002 Besonderheiten des Verkehrs auf Autobahnen unter winterlichen Bedingungen, Dissertation, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt
- Kolisetty, V. G. B., Rryo, T., Asakura, Y., Kuroda, K., 2005. Effect of Variable Message Signs on Driver Speed Behavior on a Section of Expressway under Adverse Fog Conditions – A Driving Simulator Approach. Journal of Advanced Transportation 40 (1), 47-74.
- Kraus, H., 2003. Risiko Wetter: Die Entstehung von Stürmen und anderen atmosphärischen Gefahren. Springer Verlag, Berlin.
- Maget, C., 2010. Untersuchung des Wettereinflusses auf den Verkehr. Diplomarbeit, Technische Universität München, Deutschland
- Maier, F., Grötsch, J., 2016. Wie wirkt Verkehrsbeeinflussung? - Vom Nachweis scheinbar kleiner Effekte von Messdaten. In: Straßenverkehrstechnik Heft 07/2016, Kirschbaum Verlag.
- Mangold, M, Träger, K., Lindenbach, A., 1996. Wirksamkeit von Streckenbeeinflussungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung der Umfelddatenerfassung. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik 729.
- McCornack, R. L., 1965. Extended tables of the Wilcoxon matched pair signed rank statistic. J. Amer. Statist. Assoc. 60, S. 864–871, 866 + 867
- Okamoto, N., Ishida, H., Furuya, H., Furukawa, K., 2004. Including Weather Condition Factors in the Analysis on the Highway Capacity; Proceedings of the 83rd TRB Annual Meeting, Washington D.C., USA.
- Piszczek, S., Grošanić, S., Dinkel, A., 2010. Developments within the Scope of the German Test Site für Road Weather Stations. In: Düh, J. et al. (Hrsg.), Data and Mobility, Transforming Information into intelligent Traffic and Transportation Services Proceedings of the Lakeside Conference 2010. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 49-60.
- Papageorgiou M., Kosmatopoulos, E., Papamichail, I., 2006. Effects of Variable Speed Limits on Motorway Traffic Flow, Dynamic Systems and Simulation Laboratory, Technical University of Crete.
- Rämä, P., 2001. Effects of weather-controlled variable message signing on driver behaviour. Dissertation, Helsinki University of Technology, Finland.
- Rämä, P., Kulmala, R., 2000. Effects of variable message signs for slippery road conditions on driving speed and headways. Transportation Research Part F (3), 85-94.
- RWVZ., 1997. Richtlinien für Wechselverkehrszeichenanlagen an Bundesfernstraßen, Verkehrsblatt - Dokument Nr. B 6740. Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau (Hrsg.).
- Ryan, T. A., Joiner, B. L., 1976. Normal Probability Plots and Tests for Normality. Technical Report TR1, Statistics Department, The Pennsylvania State University
- Schedler, K., Gutbrod, K., 2020. Entwicklung für eine streckenbezogene Glättevorhersage. In: Berichte der BASt Heft V 329, NW-Verlag.
- Schick, P., 2003. Einfluss von Streckenbeeinflussungsanlagen auf die Kapazität von Autobahnabschnitten sowie die Stabilität des Verkehrsflusses; Eigenverlag Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Universität Stuttgart, Stuttgart.
- Schönbach, P., 1996. Massenunfälle bei Nebel. Zeitschrift für Sozialpsychologie, 27(2), 109-125.7
- Schwietering, C., 2010. Verfahren zur Bestimmung der Einbruchswahrscheinlichkeit des Verkehrsablaufs auf Autobahnen und Anwendung in der Verkehrssteuerung. Dissertation, RWTH Aachen.

Steinhoff, C., 2003. Online Bewertung der Akzeptanz und der Wirksamkeit präventiver Maßnahme durch Streckenbeeinflussungsanlagen auf Autobahnen. Technische Universität München Schriftenreihe 1.

Technische Universität München, Lehrstuhl Verkehrstechnik, 2016. Umfelddatenerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen Testfeld „Eching Ost“ des Bundes (2003 bis 2015).

Urgibl, C., 2019. Internationale Literaturrecherche zu Steuerungsverfahren von Wetterschaltungen in Verkehrsbeeinflussungsanlagen. Bachelorthesis, Technische Universität München, Deutschland.

Van Toorenburg, J.A.C., 1986. Praktijkwaarden voor de capaciteit van hoofdwegen; Verkeerskunde 37, Nr. 5-6, Rotterdam, Niederlande.

Zsolt, S., 2016. Effects of Weather Related Safety Messages on the Motorway Traffic Parameters. Periodica Polytechnica Transportation Engineering 45 (2), 58-66.

Anhang 1: Datenmodell

Anhang_1_Datenmodell.pdf

Anhang 2: Dokumentation Datenbrowser

Anhang_2_Dokumentation_Datenbrowser.pdf

Anhang 3: Bildung der MQ-Gruppen

Anhang_3_Bildung_MQ-Gruppen.pdf

Anhang 4: Datenbankspezifikation und Datenbankbeschreibung

Anhang_4_Datenbankbeschreibung.pdf

Anhang 5: Auswahl Wirkungs- und Wirksamkeitsthesen

Anhang_5_Auswahl_Wirkungsthesen.pdf

Anhang 6: Auswertung der Thesen zur Wirkung und Wirksamkeit

Anhang_6_Thesenauswertung.pdf

Anhang 7: Streckenbezug

Anhang_7_Streckenbezug.xlsx

Anhang 8: Standorte

Anhang_8_Standorte.xlsx

Anhang 1: Datenmodell

Daten

Attribut	Beschreibung	Datentyp	Textlänge	Auflösung	Einheit	Verknüpfungen	Bemerkung
MQ	Standort	text	50	-	-	Standort, Infrastruktur, Streckenbezug	
Aggregation	Erfassungsintervall	integer		-	-		Aggregation der Daten in 15s-Intervallen oder 60s-Intervallen
Datum/Uhrzeit	Erfassungszeitpunkt	datetime		dd/mm/yy hh/mm	-		
QKFZ	Mittlere Verkehrsstärke (Kfz)	integer		1 Kfz/h	Kfz/h		
KKfz	Mittlere Verkehrsdichte (Kfz)	integer		1 Kfz/km	Kfz/km		
VKFZ	Mittlere Geschwindigkeit (Kfz)	integer		1 Kfz/h	km/h		
bMax	maximaler Belegungsgrad	integer		1 %	%		
qPkw_FS1	Mittlere Verkehrsstärke (Pkw), Fahrstreifen 1	integer		1 Kfz/h	kfz/h		
vPkw_FS1	Mittlere Geschwindigkeit (Pkw), Fahrstreifen 1	integer		1 km/h	km/h		
qLkw_FS1	Mittlere Verkehrsstärke (Lkw), Fahrstreifen 1	integer		1 Kfz/h	kfz/h		
vLkw_FS1	Mittlere Geschwindigkeit (Lkw), Fahrstreifen 1	integer		1 km/h	km/h		
b_FS1	Belegungsgrad, Fahrstreifen 1	integer		1 %	%		
sKfz_FS1	Standardabweichung (Kfz), Fahrstreifen 1	integer		1 km/h	km/h		
kKfz_FS1	Verkehrsdichte (Kfz), Fahrstreifen 1	integer		1 kfz/km	kfz/km		
qPkw_FS2	Mittlere Verkehrsstärke (Pkw), Fahrstreifen 2	integer		1 Kfz/h	kfz/h		
vPkw_FS2	Mittlere Geschwindigkeit (Pkw), Fahrstreifen 2	integer		1 km/h	km/h		
qLkw_FS2	Mittlere Verkehrsstärke (Lkw), Fahrstreifen 2	integer		1 Kfz/h	kfz/h		
vLkw_FS2	Mittlere Geschwindigkeit (Lkw), Fahrstreifen 2	integer		1 km/h	km/h		
b_FS2	Belegungsgrad, Fahrstreifen 2	integer		1 %	%		
sKfz_FS2	Standardabweichung (Kfz), Fahrstreifen 2	integer		1 km/h	km/h		
kKfz_FS2	Verkehrsdichte (Kfz), Fahrstreifen 2	integer		1 kfz/km	kfz/km		
qPkw_FS3	Mittlere Verkehrsstärke (Pkw), Fahrstreifen 3	integer		1 Kfz/h	kfz/h		
vPkw_FS3	Mittlere Geschwindigkeit (Pkw), Fahrstreifen 3	integer		1 km/h	km/h		
qLkw_FS3	Mittlere Verkehrsstärke (Lkw), Fahrstreifen 3	integer		1 Kfz/h	kfz/h		
vLkw_FS3	Mittlere Geschwindigkeit (Lkw), Fahrstreifen 3	integer		1 km/h	km/h		
b_FS3	Belegungsgrad, Fahrstreifen 3	integer		1 %	%		
sKfz_FS3	Standardabweichung (Kfz), Fahrstreifen 3	integer		1 km/h	km/h		
kKfz_FS3	Verkehrsdichte (Kfz), Fahrstreifen 3	integer		1 kfz/km	kfz/km		
qPkw_FS4	Mittlere Verkehrsstärke (Pkw), Fahrstreifen 4	integer		1 Kfz/h	kfz/h		
vPkw_FS4	Mittlere Geschwindigkeit (Pkw), Fahrstreifen 4	integer		1 km/h	km/h		
qLkw_FS4	Mittlere Verkehrsstärke (Lkw), Fahrstreifen 4	integer		1 Kfz/h	kfz/h		
vLkw_FS4	Mittlere Geschwindigkeit (Lkw), Fahrstreifen 4	integer		1 km/h	km/h		
b_FS4	Belegungsgrad, Fahrstreifen 4	integer		1 %	%		
sKfz_FS4	Standardabweichung (Kfz), Fahrstreifen 4	integer		1 km/h	km/h		
kKfz_FS4	Verkehrsdichte (Kfz), Fahrstreifen 4	integer		1 kfz/km	kfz/km		
tNetto_FS1	Nettozeitlücke, Fahrstreifen 1	integer		1 s	s		
tNetto_FS2	Nettozeitlücke, Fahrstreifen 2	integer		1 s	s		
tNetto_FS3	Nettozeitlücke, Fahrstreifen 3	integer		1 s	s		
tNetto_FS4	Nettozeitlücke, Fahrstreifen 4	integer		1 s	s		
NI	Niederschlagsintensität	float		0,1 mm/h	mm/h		
NS	Niederschlagsart	integer		-	-	Übersetzung NA	
WFD	Wasserfilmdicke	float		0,01 mm	mm		

Fortführung der Tabelle „Daten“ auf Seite 2

Daten

FBZ	Fahrbahnzustand	integer	-	-	Übersetzung FBZ	
SW	Sichtweite	integer	1 m	m		
HK	Helligkeit	integer	1 lx	Lux		
LD	Luftdruck	integer	1 hPa	hPa		
FBT	Fahrbahnoberflächentemperatur	float	0,1 °C	°C		
GT	Gefriertemperatur	float	0,1 °C	°C		
LT	Lufttemperatur	float	0,1 °C	°C		
RLF	Relative Luftfeuchte	integer	1 %	%		
RS	Restsalzgehalt	integer	1 %	%		
Nässestufe	Nässestufe	integer	-	-	Übersetzung Nässestufe	
TPT Fahrbahn [°C]	Taupunkttemperatur Fahrbahn	float	0,1 °C	°C		
TPT Luft [°C]	Taupunkttemperatur Luft	float	0,1 °C	°C		
NI-Stufe	Niederschlagsintensitäts-Stufe	integer	-	-		
WFD-Stufe	Wasserfilmdicke-Stufe	integer	-	-		
SW-Stufe	Sichtweiten-Stufe	integer	-	-		
WGM	Windgeschwindigkeit (Mittel)	float	0,1 m/s	m/s		
WGS	Windgeschwindigkeit (Spitze)	float	0,1 m/s	m/s		
WR	Windrichtung	integer	1 °	°		
TSK	Taustoffkonzentration	integer	1 %	%		
Glätte_P_akt	Glättegefahr aktuell	text	2000 -	-		Zu erwartendes Glätteereignis für einen zukünftigen Zeitpunkt (aktuell)
Glätte_P_5min	Glättegefahr 5 min	text	2000 -	-		Zu erwartendes Glätteereignis für einen zukünftigen Zeitpunkt (5 min)
Glätte_P_15min	Glättegefahr 15 min	text	2000 -	-		Zu erwartendes Glätteereignis für einen zukünftigen Zeitpunkt (15 min)
Glätte_P_30min	Glättegefahr 30 min	text	2000 -	-		Zu erwartendes Glätteereignis für einen zukünftigen Zeitpunkt (30 min)
Glätte_P_60min	Glättegefahr 60 min	text	2000 -	-		Zu erwartendes Glätteereignis für einen zukünftigen Zeitpunkt (60 min)
Glätte_P_90min	Glättegefahr 90 min	text	2000 -	-		Zu erwartendes Glätteereignis für einen zukünftigen Zeitpunkt (90 min)
TT1	Bodentemperatur in Tiefe 1	float	0,1 °C	°C		Gemessene Temperatur 5 cm unter der Fahrbahnoberfläche
TT3	Bodentemperatur in Tiefe 3	float	0,1 °C	°C		Gemessene Temperatur 30 cm unter der Fahrbahnoberfläche
NI_gegl.	Niederschlagsintensität geglättet	float	0,1 mm/h	mm/h		
WFD_gegl.	Wasserfilmdicke geglättet	float	0,01 mm	mm		
SW_gegl.	Sichtweite geglättet	integer	1 m	m		
EFD	Eisfilmdicke	float	0,01 mm	mm		Gibt die Stärke des Eisfilms am Messort an.
GR	Griffigkeit	float	0,01	-		Beschrieben durch das Kraftschlussvermögen zwischen Fahrbahn und Fahrzeugreifen. Durch Witterungseinflüssen wird der Wert herabgesetzt 0,00 steht für eine sehr schlechte und 1,00 für eine sehr gute Griffigkeit
SFD	Schneefilmdicke	integer	1 mm	mm		Gibt die Fahrbahnbenetzung mit Schnee in komprimierter/loser Form an.
TSQ	Taustoffmenge je Quadratmeter	integer	1 g/m ²	g/m ²		Vorhandene Taustoffmenge je Quadratmeter Fahrbahnoberfläche
SchaltungGefahr	Zeichen "Gefahrenwarnung"	integer	-	-	Übersetzung Gefahrenwarnung	
SchaltungV	Zeichen "Geschwindigkeitsbeschränkung"	integer	-	-	Übersetzung Tempolimit	
SchaltungÜV	Zeichen "Überholverbot"	integer	-	-	Übersetzung Überholverbot	
A1	A-Zeichen, Fahrstreifen 1	text	50 -	-	Übersetzung A-Zeichen	
A2	A-Zeichen, Fahrstreifen 2	text	50 -	-	Übersetzung A-Zeichen	
A3	A-Zeichen, Fahrstreifen 3	text	50 -	-	Übersetzung A-Zeichen	
A4	A-Zeichen, Fahrstreifen 4	text	50 -	-	Übersetzung A-Zeichen	
B1	B-Zeichen, Fahrstreifen 1/2	text	50 -	-	Übersetzung B-Zeichen	
B2	B-Zeichen, Fahrstreifen 2/3	text	50 -	-	Übersetzung B-Zeichen	
B3	B-Zeichen, Fahrstreifen 3/4	text	50 -	-	Übersetzung B-Zeichen	
C1	C-Zeichen, Fahrstreifen 1/2	text	50 -	-	Übersetzung C-Zeichen	
C2	C-Zeichen, Fahrstreifen 2/3	text	50 -	-	Übersetzung C-Zeichen	
C3	C-Zeichen, Fahrstreifen 3/4	text	50 -	-	Übersetzung C-Zeichen	

Standort

Attribut	Beschreibung	Datentyp	Textlänge	Auflösung	Einheit	Verknüpfungen	Bemerkung
MQ	Standort	text	50	-	-	Daten	
DTV	Durchschnittlicher täglicher Verkehr	long integer		100 Kfz/24h	Kfz/24h		
SV	Schwerverkehrsanteil	float		0,1 %	%		
BL	Bundesland	text	50	-	-		
MQ_Lage	Lage	text	2000	-	-		Lage der MQ zwischen Anschlussstellen
BAB	Bezeichnung der Bundesautobahn	float		0,001 km	km		
FR	Fahrtrichtung	text	50	-	-		Fernziel/Himmelsrichtung
FS_Anzahl	Streifigkeit	integer		1 FS	1 FS		
topo	Topographische/Metrologische Lage und Besonderheiten	text	2000	-	-		
verkehr	Verkehrliche Besonderheiten	text	2000	-	-		z. B. Pendlerstrecke, Ballungsraum
FB_material	Fahrbahnbelag	text	250	-	-		
SBA_Baujahr	Baujahr der SBA	integer		1 a	a		
FB_Zustand	Fahrbahnzustand	text	250	-	-		Beschreibt den Fahrbahnzustand (z.B. zugesetzter OPA). Abfrage ggf. über Betriebsdienst
SVV	Steuerungsverfahren bzgl. des Wetters	text	250	-	-		z.B. MARZ, MARZ+
quer	Querneigung	text	50	-	-		
längs	Längsneigung	text	50	-	-		
curve	Kurvigkeit	text	50	-	-		
höhe	Höhe über NN	text	50	-	-		
V_grenz_stat	Statische Geschwindigkeitsbeschränkung	text	50	-	-		
LkwUV_stat	Statische Lkw-Überholverbote	text	50	-	-		
grundVers	Grundversorgungs SBA	text	50	-	-		

Streckenbezug

Attribut	Beschreibung	Datentyp	Textlänge	Auflösung	Einheit	Verknüpfungen	Bemerkung
MQ	Standort	text	50	-	-	Daten, Standort, Infrastruktur	
Typ	Unbeeinflusste/ Beeinflusste Strecke	text	50	-	-		
Strecke	Streckenbeschreibung	text	250	-	-		
MQ_Nach	In FR nachfolgender MQ	text	50	-	-		
MQ_Nach_Abst.	Abstand zum in FR nachfolgendem MQ	integer	-	10 m	m		
AQ_Nach	In FR nachfolgender AQ	text	50	-	-		
AQ_Nach_Abst.	Abstand zum in FR nachfolgendem AQ	integer	-	10 m	m		
AQ_Strecke	AQ	text	50	-	-		
AQ_Strecke_Abst.	Abstand zwischen den betrachteten AQ	integer	-	10 m	m		
AQ_Vor	Vorheriger AQ	text	50	-	-		
AQ_Vor_Abst.	Abstand zum vorherigen AQ	integer	-	10 m	m		

Infrastruktur

Attribut	Beschreibung	Datentyp	Textlänge	Verknüpfungen
AQ	Anzeigequerschnitt	text	50	Daten
Sensor HK	Sensor Helligkeit	text	50	
Sensor SW	Sensor Sichtweite	text	50	
Sensor NI	Sensor Niederschlagsintensität	text	50	
Sensor WFD	Sensor Wasserfilmdicke	text	50	
Sensor FBZ	Sensor Fahrbahnzustand	text	50	
Sensor NS	Sensor Niederschlagsart	text	50	
Sensor RLF	Sensor Relative Luftfeuchte	text	50	
SWS	Straßenwetterstation für UFD	text	50	
Sensor FBT	Sensor Fahrbahntemperatur	text	50	
Sensor GT	Sensor Gefriertemperatur	text	50	
Sensor LT	Sensor Lufttemperatur	text	50	
Sensor RS	Sensor Restsalzgehalt	text	50	
Sensor WGM	Sensor Windgeschwindigkeit (Mittel)	text	50	
Sensor WGS	Sensor Windgeschwindigkeit (Spitze)	text	50	
Sensor WR	Sensor Windrichtung	text	50	

Übersetzung Gefahrenwarnung

Code/Parameter	Beschreibung	Verknüpfung
1	allgemeine Gefahr (Achtung-Zeichen)	Daten
2	Nässe/Schleudergefahr	Daten
3	Baustelle	Daten
4	Stau/Staugefahr	Daten
5	Sicht/Nebel	Daten
6	Unfall/Panne	Daten
7	Falschfahrer	Daten
8	Brand	Daten
9	Seitenwind	Daten
10	Glättewarnung	Daten

Übersetzung Tempolimit

Code/Parameter	Beschreibung	Verknüpfung
10	Sonderprogrammschaltung (keine Automatik)	Daten
30	Stau	Daten
40	Höchstgeschwindigkeit 40 km/h	Daten
60	Höchstgeschwindigkeit 60 km/h	Daten
80	Höchstgeschwindigkeit 80 km/h	Daten
100	Höchstgeschwindigkeit 100 km/h	Daten
120	Höchstgeschwindigkeit 120 km/h	Daten
130	Höchstgeschwindigkeit 130 km/h	Daten
150	keine Geschwindigkeitsvorgabe (freier Verkehr)	Daten

Übersetzung Überholverbot

Code/Parameter	Beschreibung	Verknüpfung
0	kein Überholverbot	Daten
1	Überholverbot für alle Kfz	Daten
2	Überholverbot für Lkw	Daten

Übersetzung A-Zeichen

Code/Parameter	Beschreibung	Verknüpfung
40	zulaessige Hoechstgeschwindigkeit: 40 km/h	Daten
60	zulaessige Hoechstgeschwindigkeit: 60 km/h	Daten
80	zulaessige Hoechstgeschwindigkeit: 80 km/h	Daten
100	zulaessige Hoechstgeschwindigkeit: 100 km/h	Daten
120	zulaessige Hoechstgeschwindigkeit: 120 km/h	Daten
130	zulaessige Hoechstgeschwindigkeit: 130 km/h	Daten
X	Fahrstreifen gesperrt (rotes X)	Daten
rechts räumen	Gelb blinkender Pfeil nach rechts	Daten
links räumen	Gelb blinkender Pfeil nach links	Daten
AUS	WVZ dunkel	Daten

Übersetzung B-Zeichen

Code/Parameter	Beschreibung	Verknüpfung
allg. ÜV	allgemeines Ueberholverbot	Daten
Lkw-ÜV	Lkw-Ueberholverbot	Daten
Ende ÜV allg.	Ende eines allgemeinen Ueberholverb	Daten
Ende ÜV Lkw	Ende eines Lkw-Ueberholverbots	Daten
Ende Beschränkunge	Ende aller Beschränkungen	Daten
allg. Gefahr	Gefahrenzeichen (Achtung!)	Daten
Glätte	Glättegefahr	Daten
Schleudergefahr	Schleudergefahr	Daten
Baustelle	Baustelle	Daten
Stau	Stau	Daten
AUS	WVZ dunkel	Daten

Übersetzung C-Zeichen

Code/Parameter	Beschreibung	Verknüpfung
Originaltext	Hinweis: die Schaltungen von C-Zeichen werden aus der Original-DB des jeweiligen Betreibers übernommen und nicht weiter kategorisiert	Daten

Übersetzung NS

Code/Parameter	Beschreibung	Verknüpfung
0	kein Niederschlag	Daten
50	geringer Regen	Daten
55	Sprühregen	Daten
60	Regen	Daten
65	starker Regen	Daten
70	Schnee bzw. gefrorener Niederschlag	Daten
-1	keine Daten	Daten

Übersetzung FBZ

Code/Parameter	Beschreibung	Verknüpfung
0	trocken	Daten
8	benetzt	Daten
16	feucht	Daten
32	nass	Daten
64	Schnee/Schneematsch	Daten
66	gefrorenes Wasser	Daten
-1	nicht ermittelbar	Daten

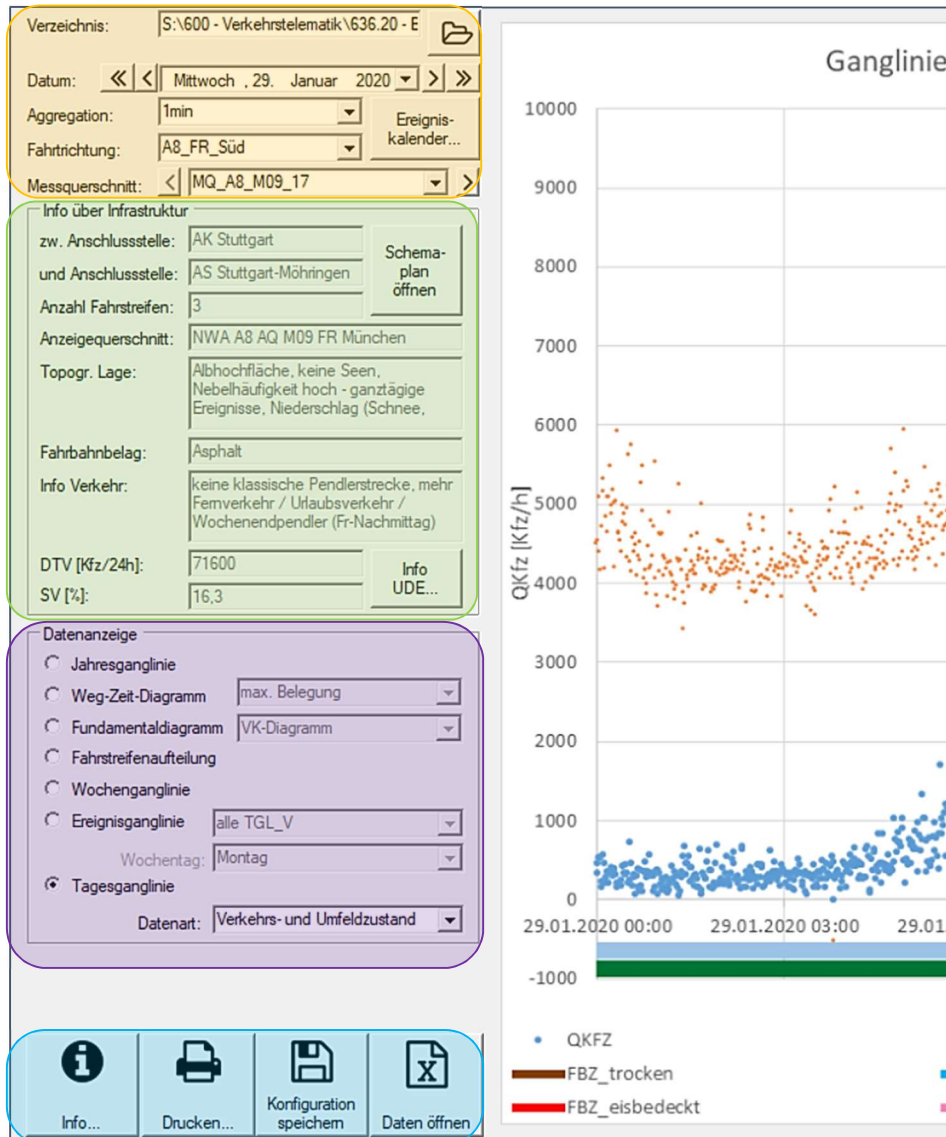
Übersetzung Nässestufe

Code/Parameter	Beschreibung	Verknüpfung
0	trocken	Daten
1	Nass 1	Daten
2	Nass 2	Daten
3	Nass 3	Daten
4	Nass 4	Daten

Anhang 2: Dokumentation Datenbrowser

Funktionen des Datenbrowsers

Die Datenbrowser lässt sich in Datenauswahl, Info über Infrastruktur, Datenanzeige, Informationen und Datenanzeige unterteilen:



Datenauswahl

1. Auswahl eines Untersuchungstags [per Dropdown-Menü und Pfeilen (</> ein Tag | <</>> eine Woche)]
 - a. Aktuelle vorhandene Daten: **14.01.2020 bis 02.02.2020**
2. Auswahl der Datenaggregation (Auswahl per Dropdown-Menü)
 - a. 15 Sekunden
 - b. 1 Minuten
3. Auswahl der Fahrtrichtung
 - a. Ausschließlich FR Süd (Datengrundlage)
4. Auswahl eines Messquerschnitts (per Dropdown-Menü und Pfeilen)

- a. MQ_A8_M09
- b. MQ_A8_M10

5. Ereigniskalender

- a. Durch die Anwahl der Schaltfläche „Ereigniskalender“ öffnet sich das folgende Fenster. Mit Hilfe des Fensters können bestimmte Ereignistage gefiltert werden.

Info über Infrastruktur

6. Schemaplan öffnen

- a. Durch die Anwahl der Schaltfläche „Schemaplan öffnen“ öffnet der Schemaplan der A8, in dem die Standorte der Umfeld-Sensoren eingetragen sind.

7. Info UDE...

- a. Durch die Anwahl der Schaltfläche „Info UDE“ öffnet eine Tabelle mit weiteren Informationen über die Umfelddatenerfassung.

Datenanzeige

8. Jahresganglinie (Für das Projekt FE 03.0567 nicht vorgesehen)

9. Weg-Zeit-Diagramm (Für das Projekt FE 03.0567 nicht vorgesehen)

10. Fundamentaldiagramm

- a. Q-V-Diagramm
- b. V-K-Diagramm
- c. Q-K-Diagramm

11. Fahrstreifenaufteilung

- a. liefert Informationen über die Verkehrsstärke auf den einzelnen Fahrstreifen am ausgewählten Tag und MQ

12. Wochenganglinie

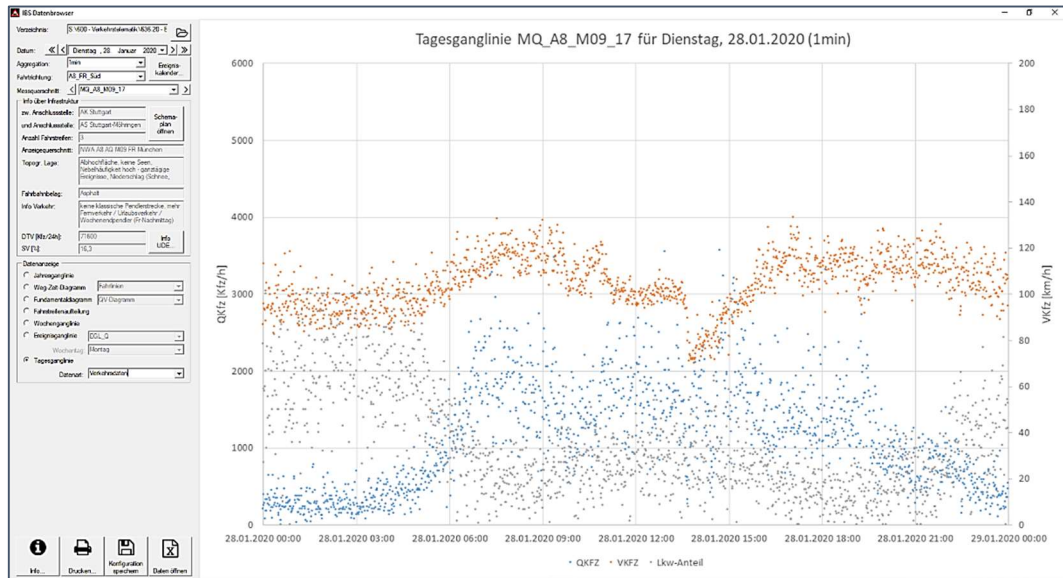
- a. liefert Informationen über die Verkehrsstärke, Geschwindigkeit und den Lkw-Anteil über die ausgewählte Woche

13. Ereignisganglinie

14. Tagesganglinie

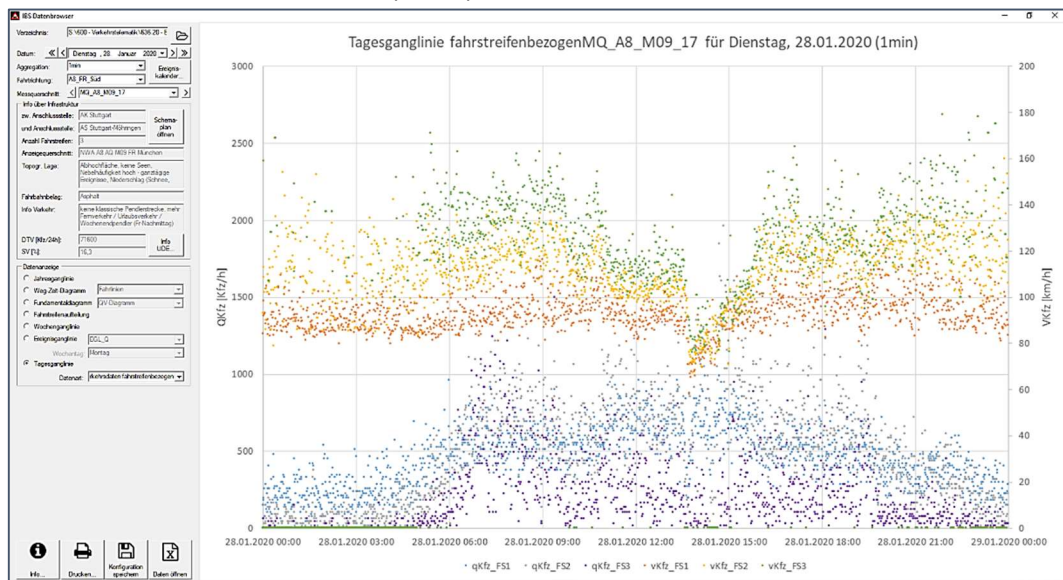
a. Verkehrsdaten

- i. Geschwindigkeit [km/h]
- ii. Verkehrsstärke [Kfz/h]
- iii. Lkw-Anteil [%]

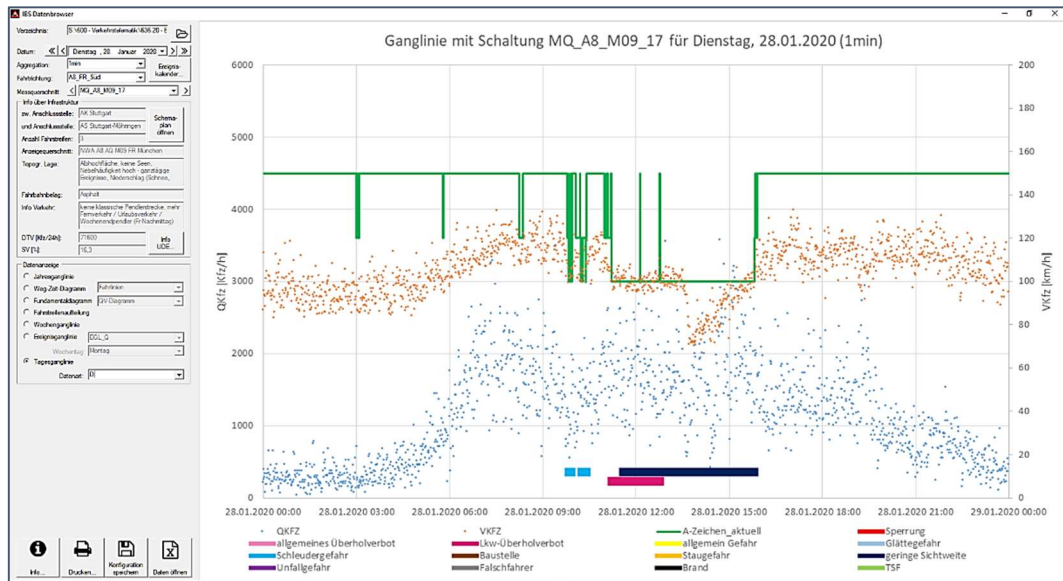


b. Verkehrsdaten (fahrstreifenbezogen)

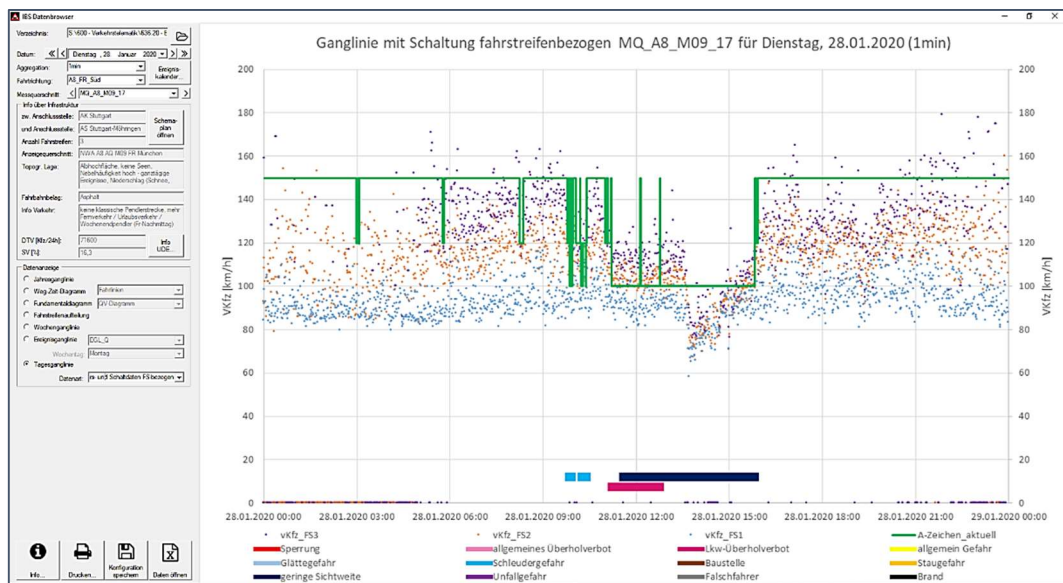
- i. Geschwindigkeit [(km/h)/Fs]
- ii. Verkehrsstärke [(Kfz/h)/Fs]



- c. Verkehrs- und Schaltdaten
 - i. Geschwindigkeit [km/h]
 - ii. Verkehrsstärke [Kfz/h]
 - iii. Schaltzustände [-]

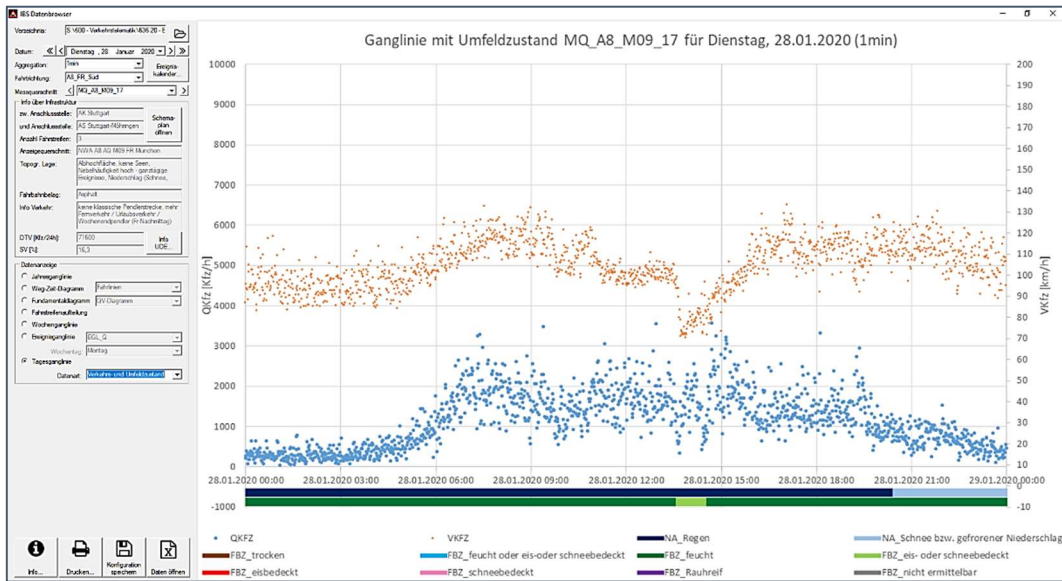


- d. Verkehrs- und Schaltdaten (fahrstreifenbezogen)
 - i. Geschwindigkeit [(km/h)/Fs]
 - ii. Schaltzustände



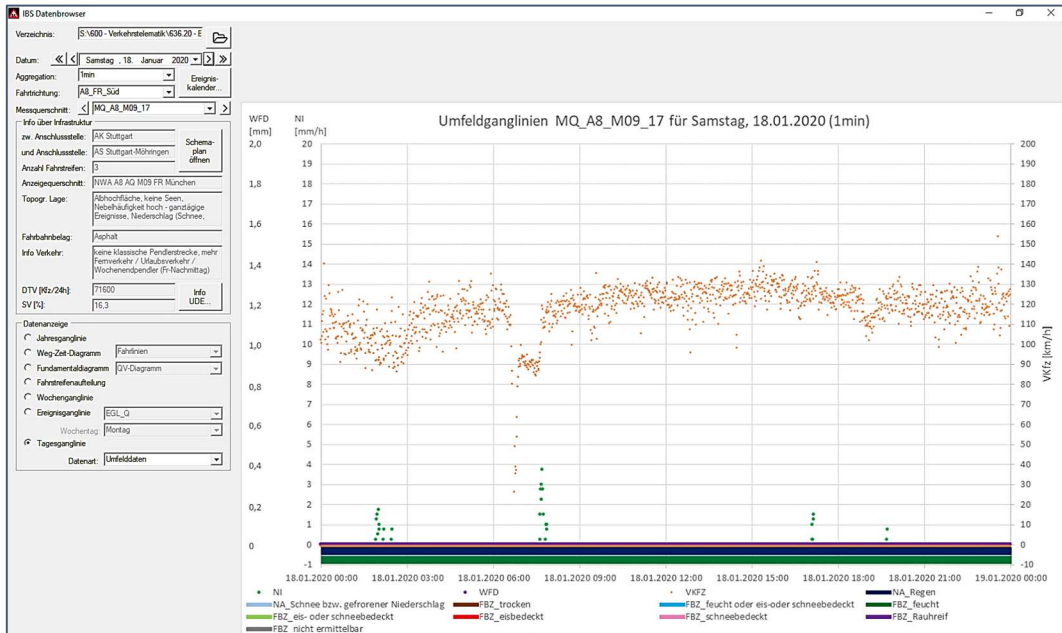
e. Verkehrs- und Umfeldzustand

- i. Geschwindigkeit [km/h]
- ii. Verkehrsstärke [Kfz/h]
- iii. Umfeldzustand [-]



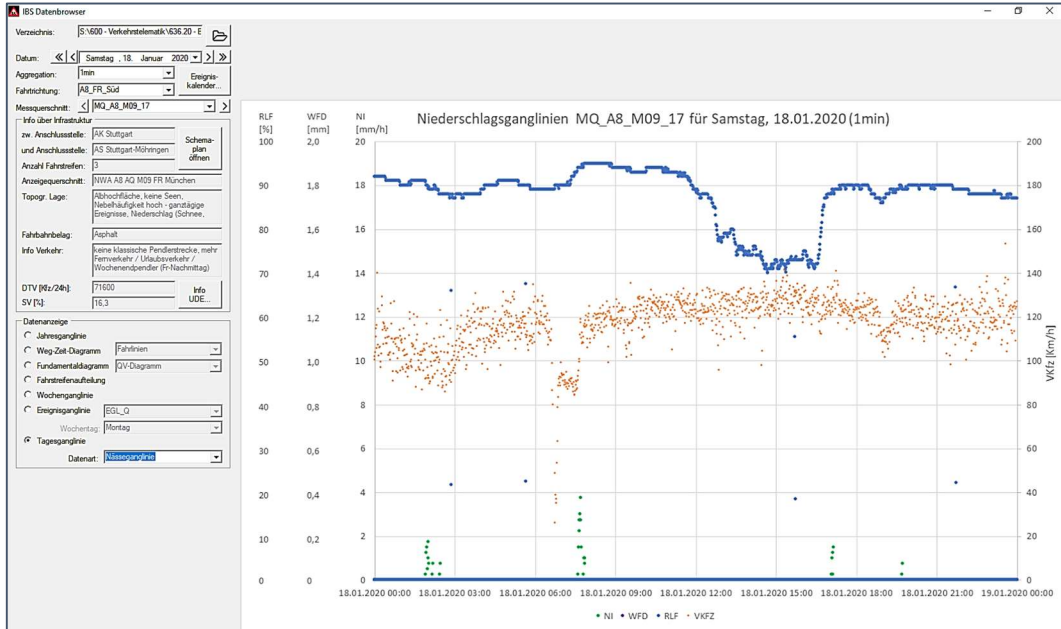
f. Umfelddaten

- i. Geschwindigkeit [km/h]
- ii. Wasserfilmdicke [mm]
- iii. Niederschlagsintensität [mm/h]
- iv. Fahrbahnzustand [-]



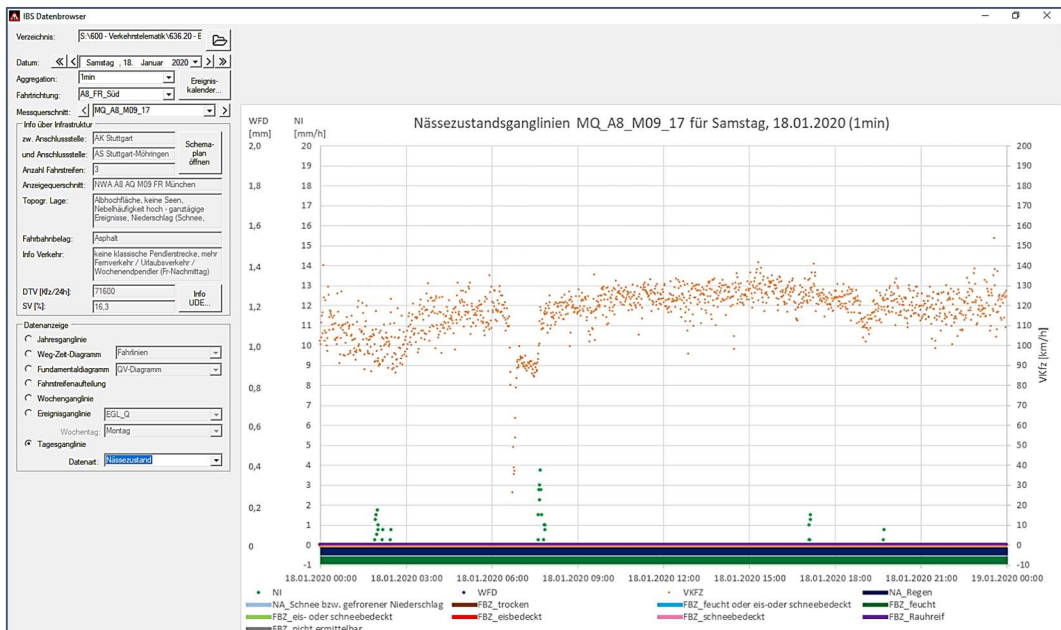
g. Nässeganglinie

- i. Geschwindigkeit [km/h]
- ii. Wasserfilmdicke [mm]
- iii. Niederschlagsintensität [mm/h]
- iv. Rel. Luftfeuchte [%]

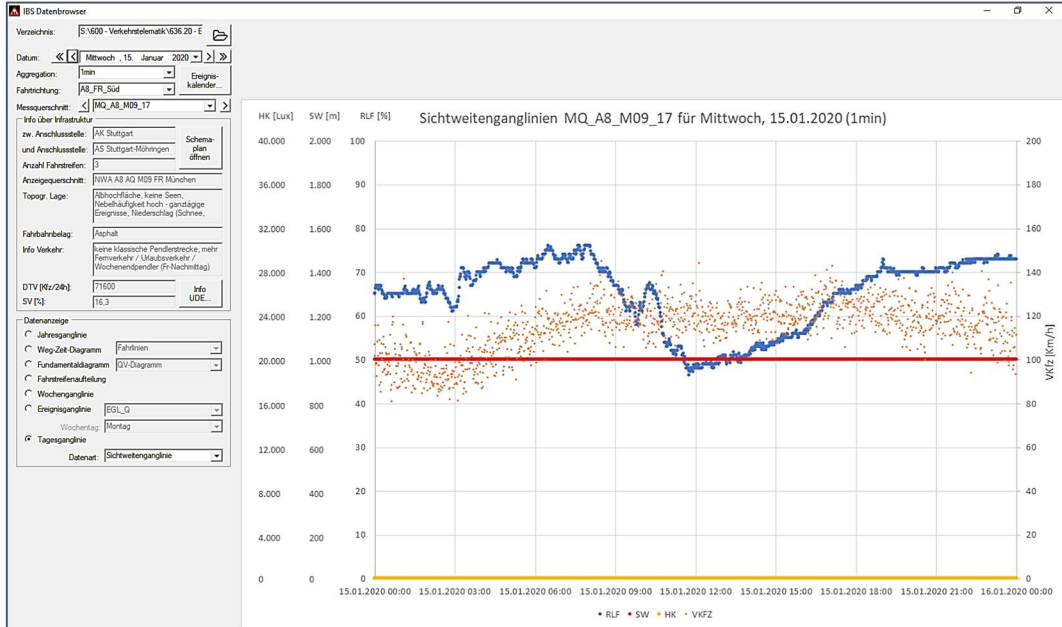


h. Nässezustand

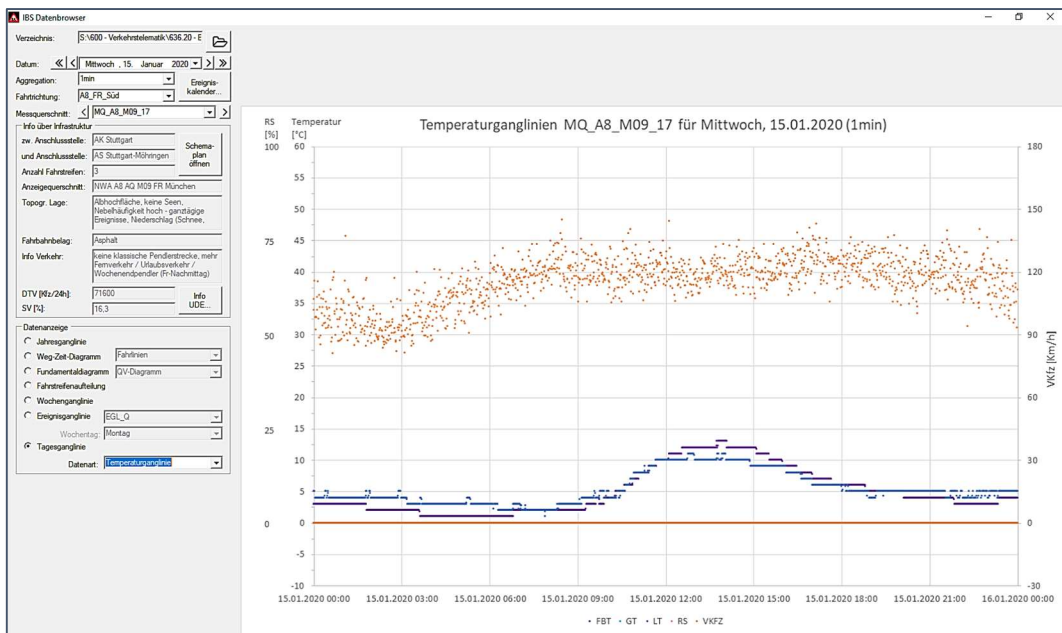
- i. Geschwindigkeit [km/h]
- ii. Wasserfilmdicke [mm]
- iii. Niederschlagsintensität [mm/h]
- iv. Fahrbahzustand [-]



- i. Sichtweitenganglinie
 - i. Geschwindigkeit [km/h]
 - ii. Helligkeit [Lux]
 - iii. Sichtweite [m]
 - iv. Rel. Luftfeuchte [%]

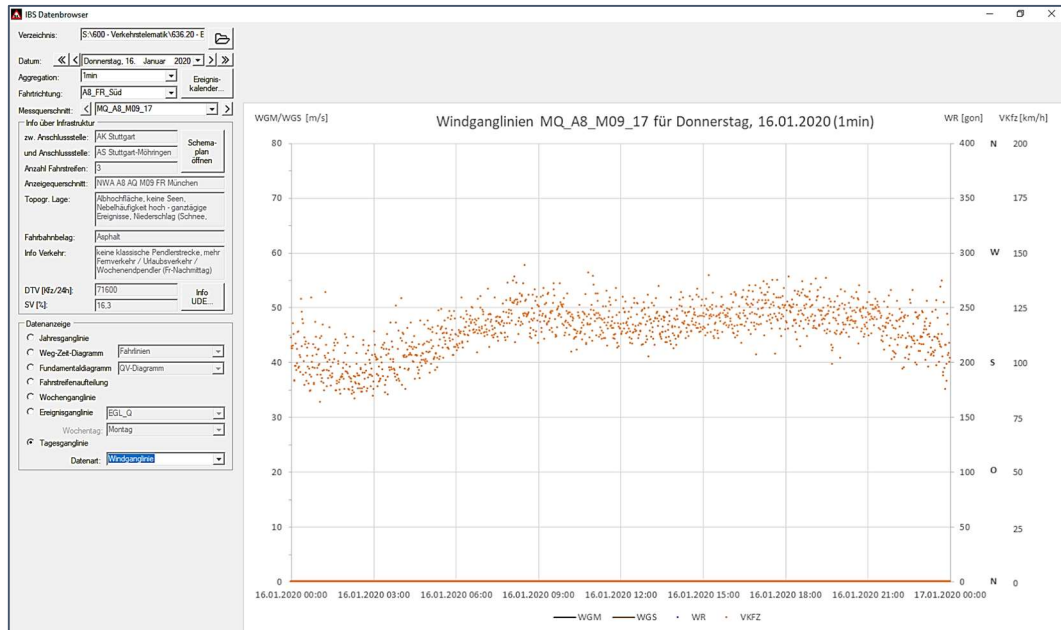


- j. Temperaturganglinie
 - i. Geschwindigkeit [km/h]
 - ii. Lufttemperatur [°C]
 - iii. Fahrbahntemperatur [°C]
 - iv. Gefriertemperatur [°C]
 - v. Restsalz [%]



k. Windganglinie (noch keine Daten vorhanden)

- i. Geschwindigkeit [km/h]
- ii. Windgeschwindigkeit (Mittel) [m/s]
- iii. Windgeschwindigkeit (Spitze) [m/s]
- iv. Windrichtung [GON]



Informationen

15. Info
16. Drucken
17. Konfiguration speichern
 - a. Speichert den benötigten Pfad
18. Daten öffnen
 - a. Öffnet die zugehörige Excel-Datei

Anhang 3: Bildung der MQ-Gruppen

Tabelle A3-1 Übersicht über die MQ-Gruppen

Nr	FS	MQ ohne SBA	SW	NI	WFD	FBZ	HK	MQ mit SBA	SW	NI	WFD	FBZ	HK
1	2							MQ_1324_FR_Dortmund	x	x			x
								MQ_1335_FR_Dortmund	x	x			x
								MQ_61.1582n	x	x	x	x	x
								MQ_61.1564n	x	x	x	x	x
								cp_a92.DET92-130P-Deg	x	x			
2	2	MQ_1335_FR_Kassel	x	x			x						
		MQ_1367_FR_Kassel	x	x			x						
3	2	MQ_A4.240		x	x								
		MQ_A4.230		x	x								
4	3	Manching FR2	x	x	x	x		MQ_A4.22	x	x		x	x
		MQ 27.100 CUX	x	x	x	x	x	MQ_A4.22a	x	x		x	x
		MQ 27.110 CUX	x	x	x	x	x						
5	3							MQ 27.030 H	x	x	x	x	x
								MQ 27.040 H	x	x	x	x	x
								MQ 27.050 H	x	x	x	x	x
								MQ 27.055 H	x	x	x	x	x
6	3							cp_a92.DET92-150-Deg	x	x	x	x	x
								cp_a92.DET92-160-Deg	x	x			x
7	3	Manching FR1	x	x	x	x		cp_a92.DET92-570-Mch	x	x			x
								cp_a92.DET92-580-Mch	x	x			x
8	3	MQ_A7_HH_186,274		x	x	x		MQ_A8_M09_17	x	x	x	x	
								MQ_A8_M10_15	x	x	x	x	
								MQ 27.060 H	x	x	x	x	x
9	3							MQ_A4.25b	x	x		x	x
								MQ_A4.26	x	x		x	x

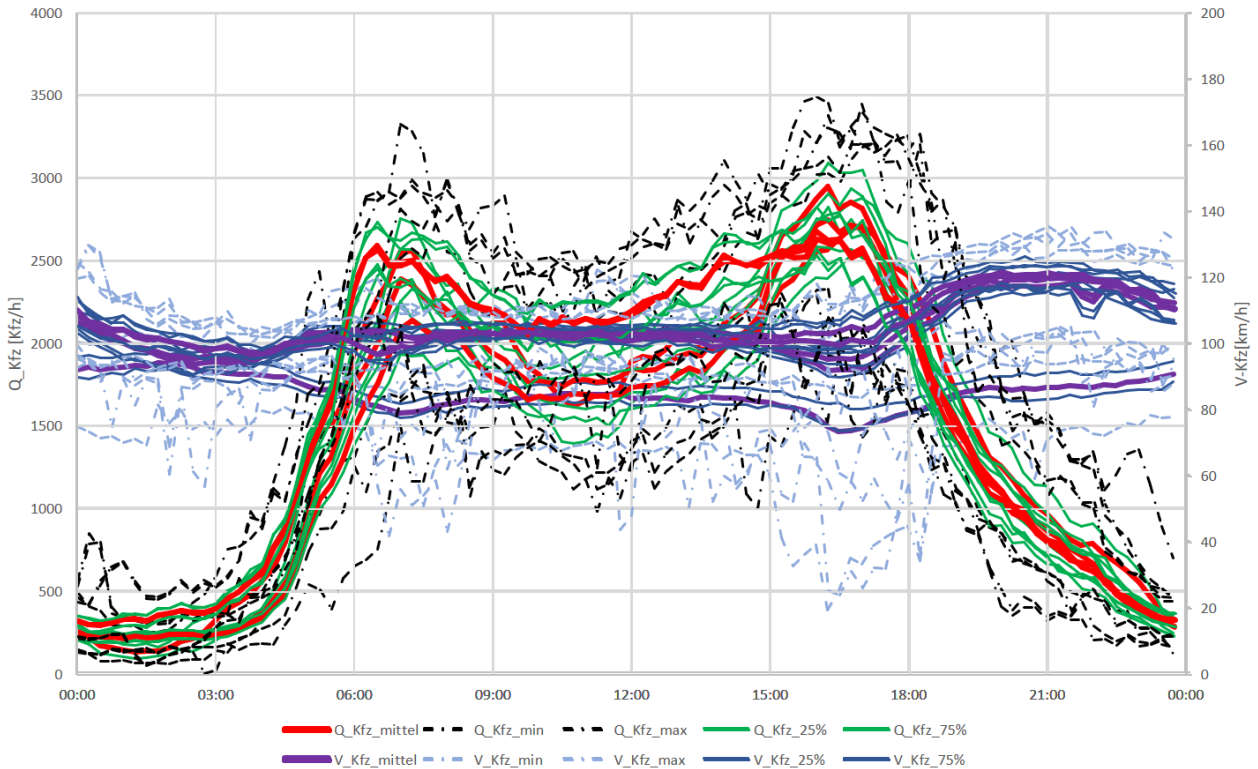


Abbildung A3-2 Bildung von MQ-Gruppe 1 durch die Überlagerung der mittleren Verkehrsstärke- und Geschwindigkeitstagesganglinien der einzelnen MQ

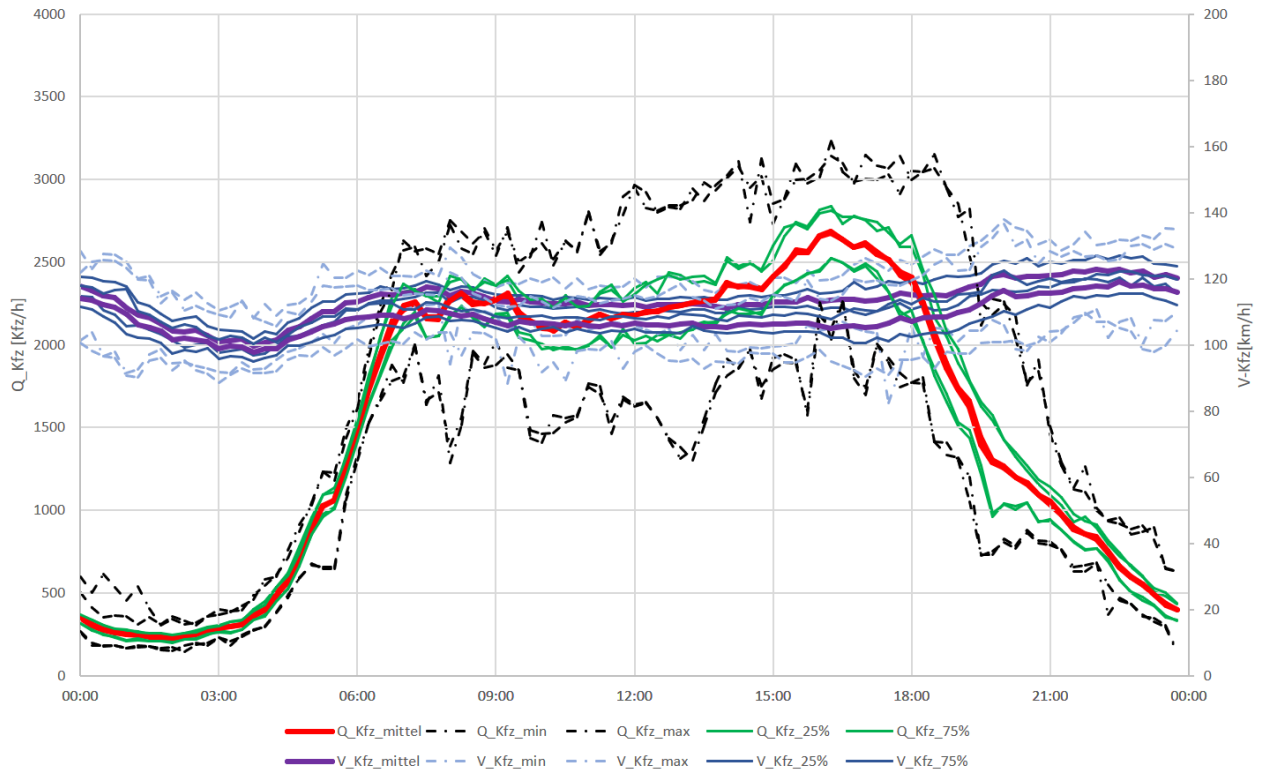


Abbildung A3-3 Bildung von MQ-Gruppe 2 durch die Überlagerung der mittleren Verkehrsstärke- und Geschwindigkeitstagesganglinien der einzelnen MQ

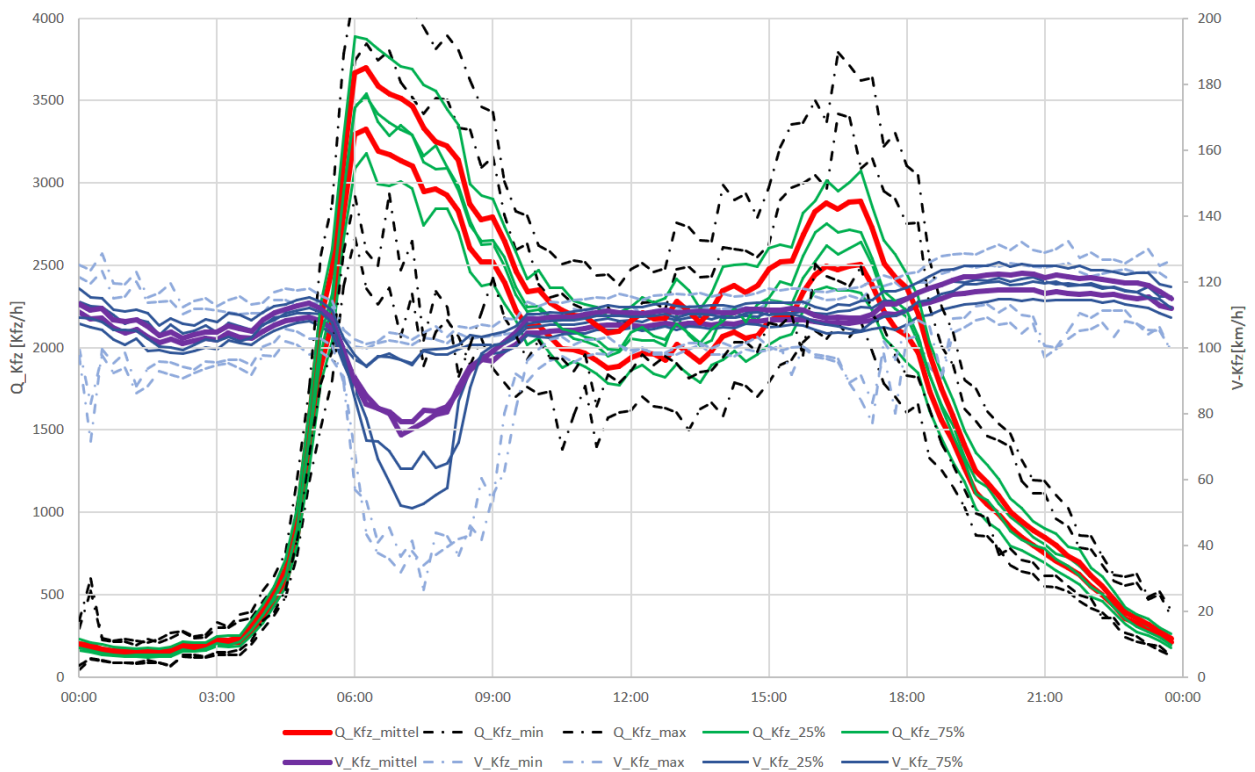


Abbildung A3-4 Bildung von MQ-Gruppe 3 durch die Überlagerung der mittleren Verkehrsstärke- und Geschwindigkeitstagesganglinien der einzelnen MQ

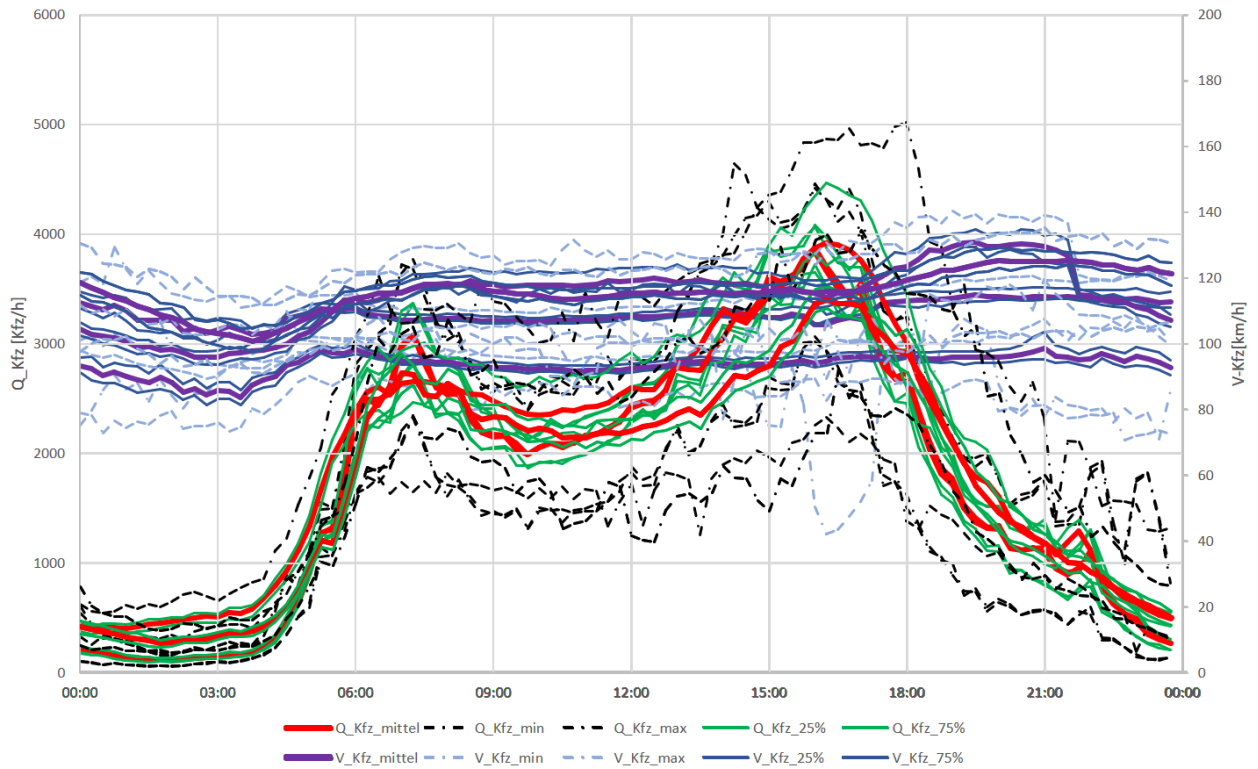


Abbildung A3-5 Bildung von MQ-Gruppe 4 durch die Überlagerung der mittleren Verkehrsstärke- und Geschwindigkeitstagesganglinien der einzelnen MQ

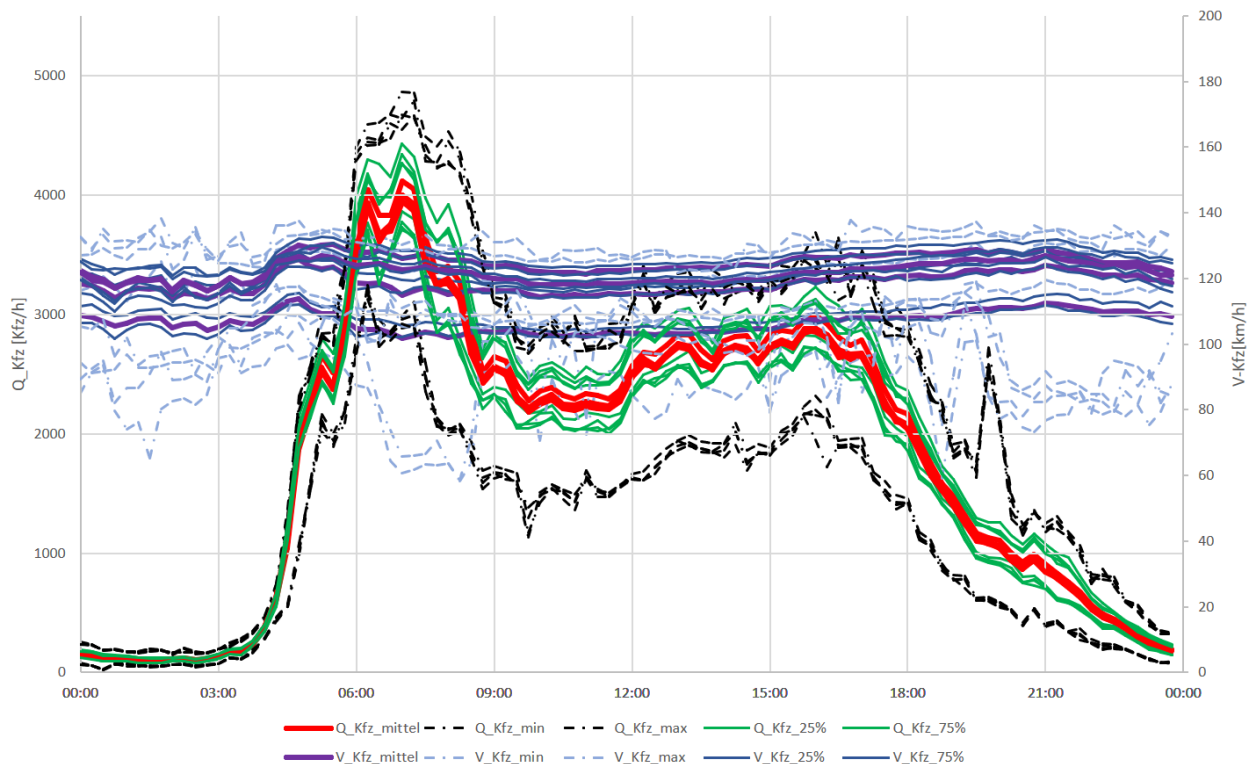


Abbildung A3-6 Bildung von MQ-Gruppe 5 durch die Überlagerung der mittleren Verkehrsstärke- und Geschwindigkeitstagesganglinien der einzelnen MQ

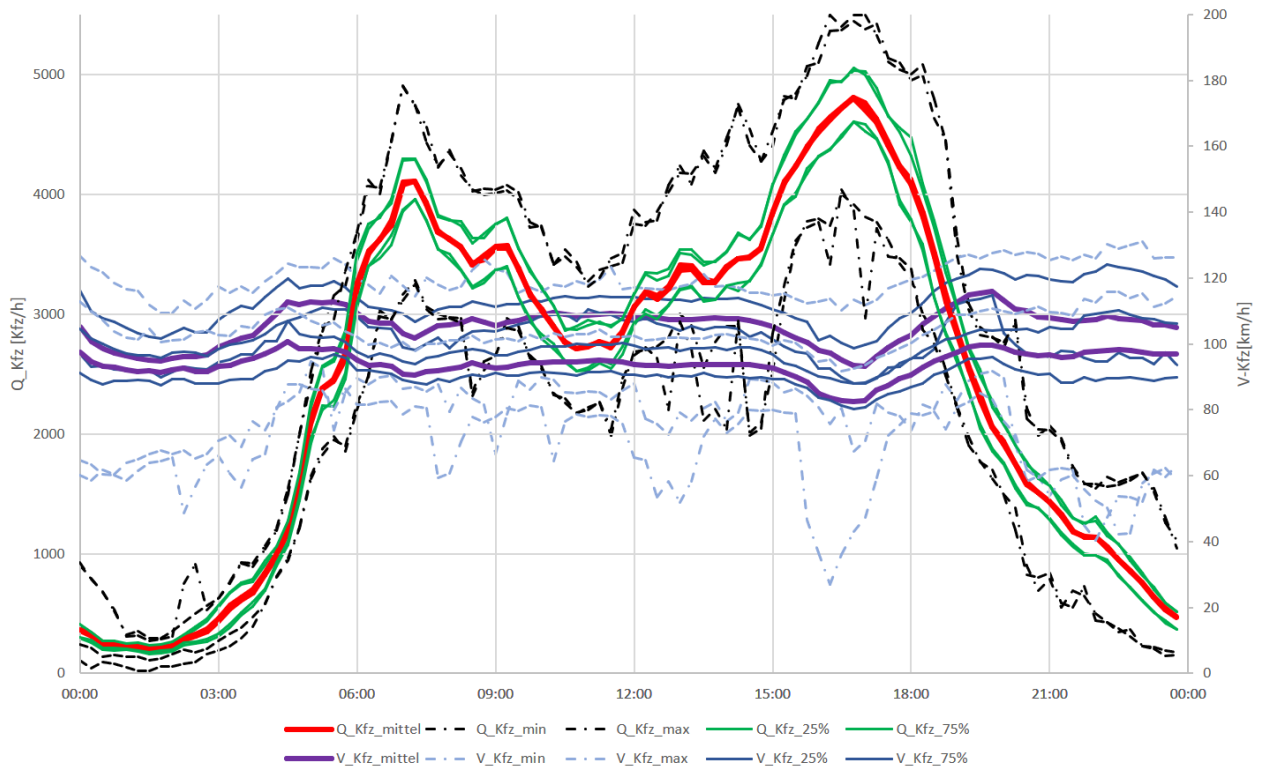


Abbildung A3-7 Bildung von MQ-Gruppe 6 durch die Überlagerung der mittleren Verkehrsstärke- und Geschwindigkeitstagesganglinien der einzelnen MQ

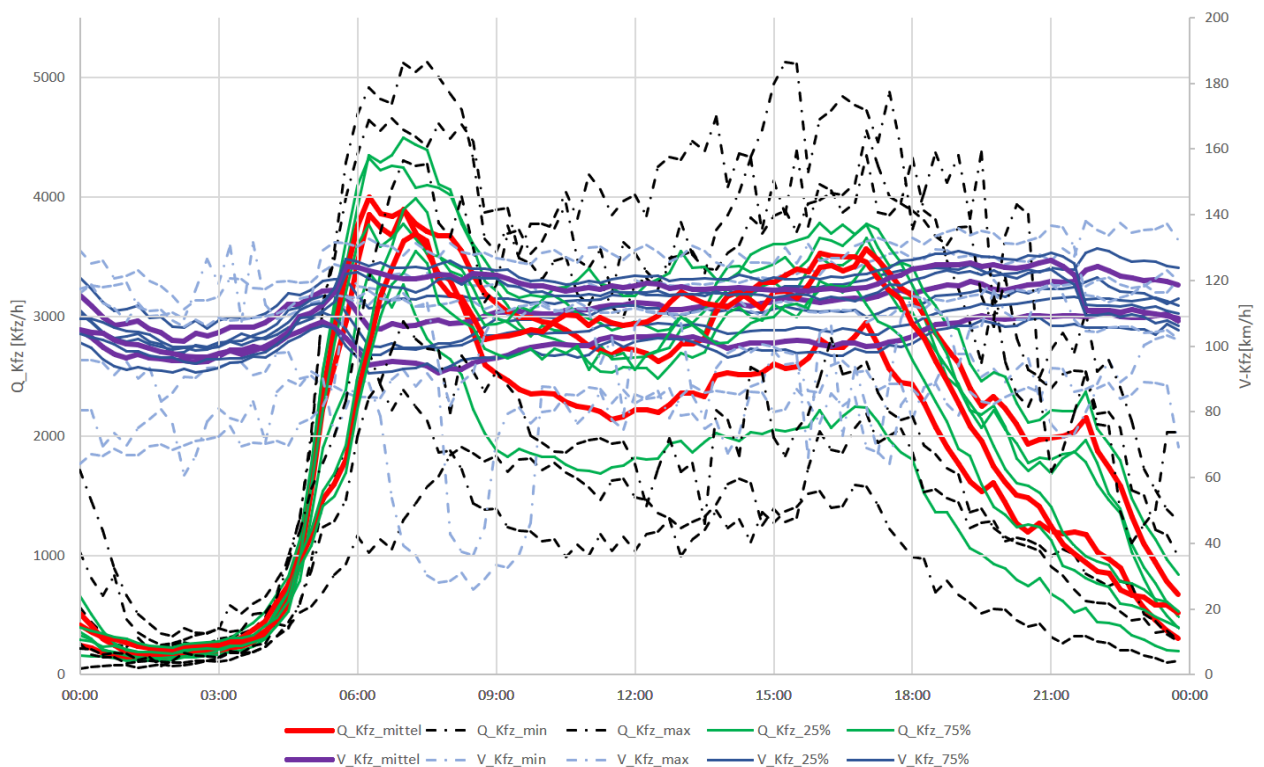


Abbildung A3-8 Bildung von MQ-Gruppe 7 durch die Überlagerung der mittleren Verkehrsstärke- und Geschwindigkeitstagesganglinien der einzelnen MQ

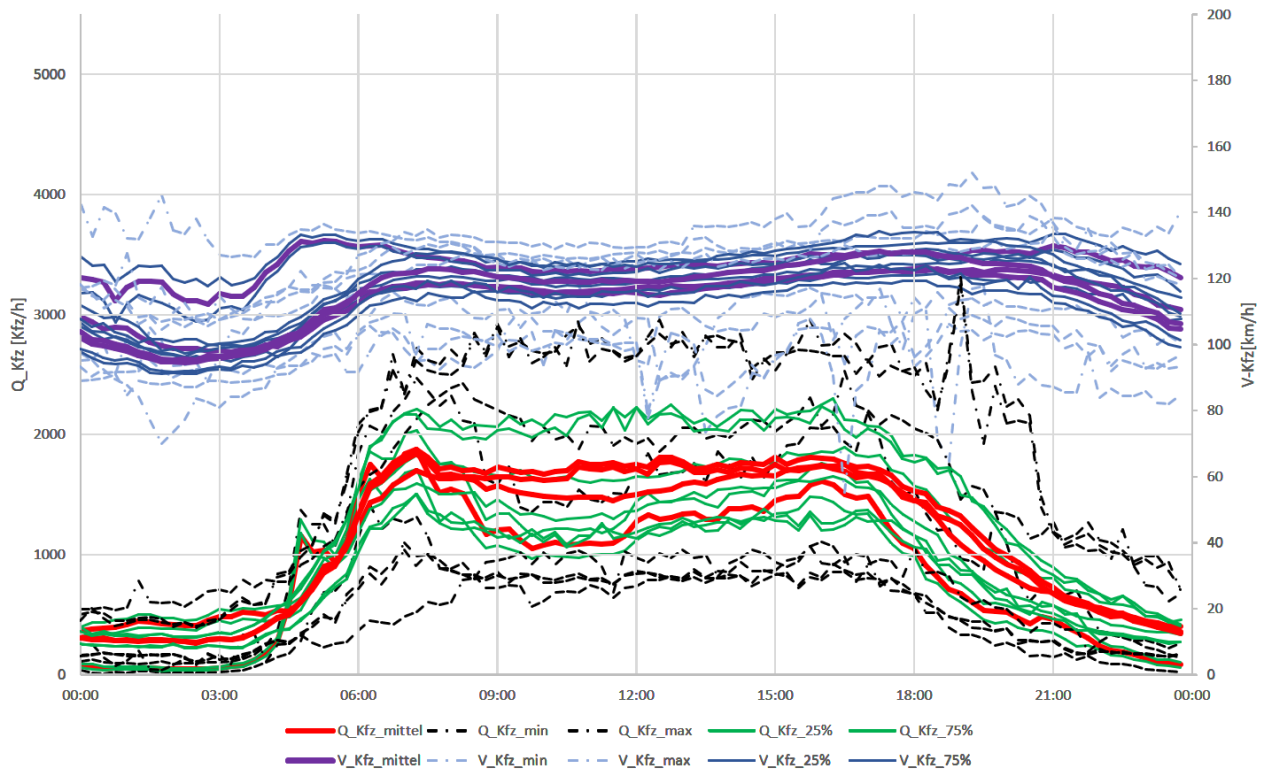


Abbildung A3-9 Bildung von MQ-Gruppe 8 durch die Überlagerung der mittleren Verkehrsstärke- und Geschwindigkeitstagesganglinien der einzelnen MQ

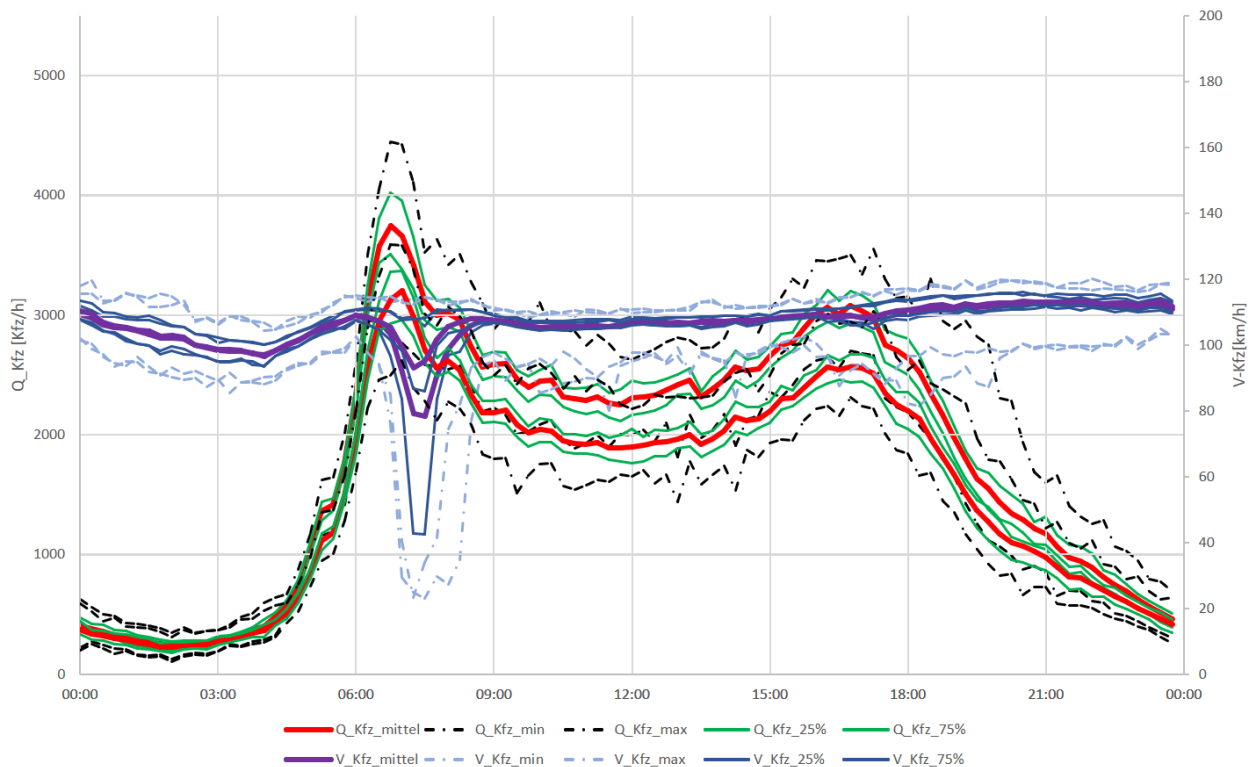


Abbildung A3-10 Bildung von MQ-Gruppe 9 durch die Überlagerung der mittleren Verkehrsstärke- und Geschwindigkeitstagesganglinien der einzelnen MQ

Anhang 4: Datenbankspezifikation und Datenbankbeschreibung

A4.1. Installation	2
A4.1.1. Hardwarearchitektur	3
A4.1.2. Softwarearchitektur.....	4
A4.1.2.1 Serverseite.....	4
A4.1.2.2. Entwicklerseite.....	5
A4.1.2.3. Anwenderseite	6
A4.1.3. Quellcode	6
A4.1.3.1. Installation des Composers.....	6
A4.1.3.2. Installation von Symfony und Einrichtung des Frameworks.....	7
A4.1.3.3. Projektordner oder Projektverzeichnis.....	7
A4.1.3.4. Inhalt unseres Git Repositorys: die Geschäftslogik	8
A4.1.3.5. Umgebungskonfiguration	9
A4.1.4. Webserver-Initialisierung	9
A4.1.5 Sicherheit.....	10
A4.1.6. Cache des vorkompilierten Quellcodes.....	10
A4.1.6.1. Den Cache leeren – der offizielle Weg.....	11
A4.1.6.2. Den Cache leeren – der leichte Weg.....	11
A4.1.7. Geplante Skriptausführung	11
A4.1.7.1. “Aufgabenplan”	11
A4.1.7.2. Python Skriptausführung.....	12
A4.1.8. Datenbank	13
A4.1.8.1. Schema und Tabellen	13
A4.1.8.2. Datenbank-Benutzer	14
A4.1.9. Mailing	14
A4.2. Anwendung	16
A4.2.1. Benutzerauthentifizierung	16
A4.2.2. Hauptmenü	16
A4.2.3. Beispielhafter Arbeitsablauf	17
A4.2.3.1. Füllen der Hauptdatentabelle	17
A4.2.3.2. Erstellen einer Abfrage.....	18
A4.2.3.3. Ausführung und Überwachung von Aufgaben	19
A4.2.3.4. Abmeldung.....	20
A4.2.3.5. Hinzufügen eines neuen Benutzers.....	20

A4.1. Installation

Die Verkehrsauswertedatenbank (kurz VADb) ist als Webanwendung konzipiert, damit die Benutzer unabhängig von ihrem tatsächlichen Standort auf die Anwendung zugreifen können. Natürlich können Systemadministratoren mit Hilfe eines geeigneten Netzwerk-Routings und Zugriffsbeschränkungen genau festlegen, welche Standorte auf die Anwendung zugreifen dürfen. Sie kann als weithin zugängliche Webanwendung konfiguriert werden, die von verschiedenen Ländern oder Kontinenten aus erreicht werden kann, oder sie kann ein lokaler Dienst in einem Bürogebäude sein, der perfekt von der Außenwelt isoliert ist. In jedem Fall wird empfohlen, die Software auf einem Server mit Netzzugang zu installieren, aber es ist auch möglich, das gesamte Paket auf einem separaten Desktop-PC mit der erforderlichen Leistung zu installieren.

Ein weiterer wichtiger Eckpfeiler war die Skalierbarkeit der Leistung. Wie später noch erwähnt wird, kann es sich bei der Hardware je nach der Anzahl der Benutzerzugriffe, der Menge der gespeicherten und verarbeiteten Daten, dem allgemeinen Arbeitsablauf der Benutzer usw. um einen eigenständigen Desktop-PC in einem Büro oder um einen Hochleistungsserver in einem klimatisierten Serverraum handeln, der von einer unterbrechungsfreien Stromversorgung gespeist wird und auf den Laptops, mobile Geräte oder andere kompatible Endgeräte über eine Netzwerkverbindung zugreifen.

Wenn wir eine Serverinstanz auf einer bestimmten Hardware einrichten, treffen wir in der Regel eine Entscheidung über deren Leistung. Wenn die Hardware jedoch in der Lage ist, einen anderen Prozessor (mehr Kerne, mehr Threads), mehr Arbeitsspeicher, mehr Speicherplatz usw. zu akzeptieren, können wir die Verarbeitungsmöglichkeiten der Anwendung mit den erforderlichen Änderungen der Softwarekonfiguration immer noch verbessern.

Während der Entwicklung hat unser System mehrere Plattform- und Konfigurationsänderungen durchlaufen, während die Benutzer keine bemerkenswerten Änderungen feststellen konnten, außer dass die Anwendung schneller geworden ist.

1. Die erste (Konzeptnachweis) Instanz der Anwendung wurde auf einem Webhosting-Dienst mit begrenzten Ressourcen installiert: 1 GB Speicherplatz, gemeinsam genutzter Prozessor und Arbeitsspeicher mit anderen Diensten.
2. Die zweite Inkarnation der Anwendung wurde als Multi-Layer-Architektur gebaut: Während die vorherige Installation auf dem ursprünglichen Webhosting-Dienst beibehalten wurde (um einen einfachen internationalen Zugriff zu haben), haben wir einen Core-Server an einem anderen Ort aufgebaut, der exklusiven und dedizierten Zugriff von der Instanz auf das Webhosting verwendet. Die Webhosting-Instanz war für die Annahme von Benutzeranfragen zuständig, der Core-Server für die Speicherung der ständig wachsenden Daten (30+ GB) und die Durchführung von Data-Mining-Abfragen (siehe Kapitel 5.3.2 und 5.3.3.). Dieser Core-Server hatte relative großen Speicherplatz, aber er war zu langsam. Diese Konfiguration war eine Zwangslösung und nur für kurze Zeit am Leben, aber sie half uns, die Art und Weise der Verteilung der Leistung auf verschiedene Dienste der Anwendung zu entwickeln
 - Benutzerauthentifizierung und GUI,
 - Ressourcenintensives Data Mining.

3. Die dritte (und derzeit letzte) Instanz der Anwendung wurde komplett auf einem VPS (Virtual Private Server) mit der Hardware-Konfiguration aufgebaut, die im folgenden Abschnitt beschrieben wird. Mit diesem Upgrade wurde der Workflow in jeder Hinsicht schneller und reibungsloser.

A4.1.1. Hardwarearchitektur

Die Anwendung kann auf einem physikalischen x86-Architektur (64 Bit) Computer oder virtuellen Server ausgeführt werden. Derzeit läuft es auf einem VPS mit folgender Hardware-Konfiguration:

- 32 GB DDR4 RAM
- 6-Core-KVM-Prozessor mit 16 MB Cache, läuft mit 2,4 GHz
- 100 GB Speicherplatz auf NVMe SSD

Die Konfiguration kann entsprechend verfeinert werden nach

- der Anzahl der gleichzeitigen Nutzer,
- die Menge an Datensätzen, an denen Nutzer arbeiten.

Es wurden dabei die folgenden Komponenten verwendet:

- Computer:
 - HP ProLiant Microserver N40L
- CPU:
 - AMD Turion II Neo N40L (2 Kerne, 2 Threads, 64 bit-Architektur)
- RAM:
 - 16 GB RAM (2 x KINGSTON KVR1333D3E9S Module) PC3 10600E (1333MHz)
- HDD:
 - VB0250EAVR HP 250-GB 3G 7.2K 3.5 SATA
- Netzwerkadapter:
 - Broadcom NetXtreme BCM5723 Gigabit Ethernet

Die aktuelle Konfiguration ist für fast 44 Millionen Datensätze und weniger als 5 gleichzeitige Nutzer eingestellt. Mit dieser Konfiguration lassen sich die Stillstandszeiten (als Statistik) erlebbar machen:

- Hochladen, Auswerten und Einfügen von 10 080 Datensätzen von CSV-Rohdaten:
~15 Sekunden
- Ausführen von Aufgaben mit ~2 Millionen Datensätzen (abhängig von der Komplexität der Abfrage):
~10...20 Minuten
- Löschen von ~200 Dokumenten (~2 Millionen Datensätze) vor dem Ersetzen:
~2...4 Stunden (siehe technische Anmerkung in Kapitel 5.3.1.)

Frühere Konfigurationen

Die Anwendung ist in der Lage, auf schwächeren Konfigurationen zu laufen, aber mit deutlich geringerer Leistung. In einer früheren Phase der Entwicklung lief die Business-Logik der Anwendung auf folgender Konfiguration (Kernserver, siehe Kapitel A4.1):

- 16 GB DDR3 RAM

- 2 Core Prozessor mit 2 MB Cache, läuft mit 800 MHz
- 500 GB Speicherplatz auf einer einzigen HDD

Mit dieser Konfiguration lassen sich die Stillstandzeiten wie folgt erleben:

- Hochladen, Auswerten und Einfügen von 10 080 Datensätzen von CSV-Rohdaten:
~3...11 Minuten
- Ausführen von Aufgaben mit ~2 Millionen Datensätzen (abhängig von der Komplexität der Abfrage):
~30...90 Minuten
- Löschen von ~200 Dokumenten (~2 Millionen Datensätze) vor dem Ersetzen:
~mehrere Stunden

A4.1.2. Softwarearchitektur

VADb ist als Client-Server-Anwendung implementiert. Die Geschäftslogik liegt auf einem Webserver, während die Benutzeroberfläche über einen Webbrowser zugänglich ist.

A4.1.2.1 Serverseite

Unsere Implementierung ist auf einem Linux-basierten (Ubuntu 20.04.2 LTS) Server aufgebaut, auf dem die folgenden (wesentlichen) Anwendungen und Dienste laufen:

- Apache/2.4.41 (Ubuntu) Webserver,
- PHP 7.4.3 (cli) (built: Oct 25 2021 18:20:54) (NTS)
 - Derzeit installierte PHP-Module (Befehl zum Auflisten: **php -m**):
calendar, Core, ctype, curl, date, dom, exif, FFI, fileinfo, filter, ftp, gettext, hash, iconv, json, libxml, mbstring, mysqli, mysqlnd, openssl, pcntl, pcre, PDO, pdo_mysql, Phar, posix, readline, Reflection, session, shmop, SimpleXML, sockets, sodium, SPL, standard, sysvmsg, sysvsem, sysvshm, tokenizer, xml, xmlreader, xmlwriter, xsl, Zend, Opcache, zip, zlib
 - Derzeit installierte Zend Module:
Zend Opcache
- Python 3.8.10 (default, Sep 28 2021, 16:10:42)
 - Derzeit installierte Pakete (Befehl für die Auflistung: **pip3 list**):
atomicwrites 1.1.5, attrs 19.3.0, Automat 0.8.0, beautifulsoup4 4.8.2, blinker 1.4, certifi 2019.11.28, chardet 3.0.4, Click 7.0, cloud-init 21.1, colorama 0.4.3, command-not-found 0.3, configobj 5.0.6, constantly 15.1.0, cryptography 2.8, cycler 0.10.0, dbus-python 1.2.16, decorator 4.4.2, distro 1.4.0, distro-info 0.23ubuntu1, entrypoints 0.3, et-xmlfile 1.0.1, fail2ban 0.11.1, html5lib 1.0.1, httplib2 0.14.0, hyperlink 19.0.0, idna 2.8, importlib-metadata 1.5.0, incremental 16.10.1, jdcalf 1.0, Jinja2 2.10.1, jsonpatch 1.22, jsonpointer 2.0, jsonschema 3.2.0, keyring 18.0.1, kiwisolver 1.3.1, language-selector 0.1, launchpadlib 1.10.13, lazr.restfulclient 0.14.2, lazr.uri 1.0.3, lxml 4.5.0, MarkupSafe 1.1.0, matplotlib 3.4.2, more-itertools 4.2.0, netifaces 0.10.4, numexpr 2.7.1, numpy 1.20.3, oauthlib 3.1.0, olefile 0.46, openpyxl 3.0.3, packaging 20.3, pandas 1.2.4, pexpect 4.6.0, Pillow 8.2.0, pip 20.0.2, pluggy

0.13.0, py 1.8.1, pyasn1 0.4.2, pyasn1-modules 0.2.1, PyGObject 3.36.0, PyHamcrest 1.9.0, pyinotify 0.9.6, PyJWT 1.7.1, pymacaroons 0.13.0, PyNaCl 1.3.0, pyOpenSSL 19.0.0, pyparsing 2.4.7, pyrsistent 0.15.5, pyserial 3.4, pytest 4.6.9, python-apt 2.0.0+ubuntu0.20.4.4, python-dateutil 2.8.1, python-debian 0.1.36ubuntu1, pytz 2021.1, PyYAML 5.3.1, requests 2.22.0, requests-unixsocket 0.2.0, scipy 1.6.3, SecretStorage 2.3.1, service-identity 18.1.0, setuptools 45.2.0, simplejson 3.16.0, six 1.14.0, sos 4.1, soupsieve 1.9.5, ssh-import-id 5.10, systemd-python 234, tables 3.6.1, Twisted 18.9.0, ubuntu-advantage-tools 20.3, ufw 0.36, unattended-upgrades 0.1, urllib3 1.25.8, wadllib 1.3.3, wcwidth 0.1.8, webencodings 0.5.1, wheel 0.34.2, xlrd 1.1.0, xlwt 1.3.0, zipp 1.0.0, zope.interface 4.7.1

- MySQL Ver 8.0.27-0ubuntu0.20.04.1 für Linux on x86_64 ((Ubuntu))
- crontab (integrierter Aufgabenplaner, der kontinuierliche Hintergrundoperationen der Anwendung initiiert), der Datensätze wie die in Kapitel A4.1.7. beschrieben haben sollte.

Wenn die Anwendung in einem privaten (nur lokal zugänglichen) Netzwerk installiert wird, muss kein weiterer Schutz installiert werden. Andernfalls sollte das System andere Sicherheitsdienste haben, wie:

- Firewall (z.B. ufw, iptables)
- Fehlerhafte Authentifizierungsversuche (oder Zugriffsflutungen) -Software zur Reduzierung (z.B. fail2ban)

Bei einer Neuinstallation sollte das neue System über die oben genannten Softwarekomponenten verfügen.

A4.1.2.2. Entwicklerseite

Die Entwicklung der Datenbank ist mit folgender Softwarearchitektur erfolgt:

- Operating system:
 - Ubuntu 20.04.1 LTS (Focal Fossa)
- Database server:
 - MySQL Community Server, 8.0.21-0ubuntu0.20.04.4 for Linux on x86_64
- Web server:
 - Apache/2.4.41 (Ubuntu)
- Programming environment:
 - PHP 7.4.3
- Eingesetzte Programmier-Bibliotheken:
 - Symfony 4.4.11
 - jQuery v3.3.1
 - jQuery File Upload Plugin
 - Bootstrap v4.4.1
 - Datepicker for Bootstrap v1.9.0
 - popperjs/core v2.2.1
 - toastr v2.1.3
 - Font Awesome Free 5.12.0
 - DataTables 1.10.20
 - Lightbox v2.8.1

- Versionierung :
 - git 2.25.1

A4.1.2.3. Anwenderseite

Beim Anwender (Nutzer) sollen folgende Technologien eingesetzt werden:

- HTML5
- Javascript
- CSS3

Verwendete (enthaltene) Javascript/CSS-Bibliotheken:

- jQuery 3.3.1
- Bootstrap 4.4.1, Popper 2.2.1
- Font Awesome Free 5.12.0
- Toastr 2.1.3
- Datepicker for Bootstrap 1.6.1
- Lightbox 2.8.1

Für einen reibungslosen, zuverlässigen und sicheren Betrieb benötigen die Nutzer aktuelle Internet-Browser. Zum Beispiel:

- Google Chrome / Chromium (open source version of Google Chrome) 95.0+
- Firefox 94.0+

A4.1.3. Quellcode

Die Anwendung basiert auf dem Symfony Framework (Version 4.4.11), einem Satz wiederverwendbarer PHP-Komponenten und einem PHP-Framework für Webprojekte: <https://symfony.com/>. Das Projekt ist Open Source und kann daher frei für persönliche oder kommerzielle Produkte verwendet werden.

Damit können wir allgemeine Unterdienste (z.B. Routing, Übersetzung, DB-Anbindung, Templating, Mailversand etc.) schnell einrichten. Die Installation ist einfach und die Verzeichnisstruktur ist gut organisiert.

In den folgenden Abschnitten stellen wir Ihnen vor, wie Sie Symfony installieren, einrichten und die Geschäftslogik (den Quellcode der Applikation selbst) einbinden. **Diese Schritte sind nur erforderlich, wenn man nicht über den kompletten Quellcode verfügt und ein sauberes und steriles Framework für die Weiterentwicklung erstellen möchte.**

Alle Installationsschritte werden in der Linux-Konsole (Ubuntu 18.04 LTS) dargestellt (wenn das \$-Symbol den Beginn der Eingabeaufforderung anzeigt), vorausgesetzt, die Laufzeitumgebung aus Kapitel A4.1.2.1. ist bereits installiert.

A4.1.3.1. Installation des Composers

Symfony arbeitet mit Composer, einem Abhängigkeitsmanager für PHP. Mit Composer können bestehende Open-Source-Module und -Bibliotheken mit einem einzigen Konsolenbefehl zu unserem Projekt hinzugefügt werden.

Composer kann nach den Anweisungen der Website installiert werden:

<https://getcomposer.org/download/>

A4.1.3.2. Installation von Symfony und Einrichtung des Frameworks

Download (Erstellen) der Binärdatei des Symfony-Installationsprogramms (kann auch als vorkompilierte Binärdateien von <https://symfony.com/download> heruntergeladen werden):

```
$ wget https://get.symfony.com/cli/installer -O - | bash
```

Die Erstellung eines Symfony-Projekts (beachten Sie die frühere Version des Projektnamens «dedb» und die gewünschte Symfony-Versionsnummer) sollte außerhalb des gewünschten Projektordners (also im übergeordneten Ordner des gewünschten Projekt-Stammverzeichnisses, in unserem Fall im `/var/www` absolute path):

```
$ symfony new dedb --full --version=4.4
```

Das Hinzufügen von Rewrite-Regeln ermöglicht es uns, URL-freundliche Routen zu verwenden und alle Anfragen einfach über einen Einstiegspunkt der Anwendung zu kanalisieren (diese Befehle sollten nun innerhalb des Projektordners initiiert werden; in unserem Fall im `/var/www/dedb` absolute path):

```
$ composer require symfony/apache-pack
```

Die Bereitstellung von Routenannotationen in Controller-Klassen hilft uns, Routen (und URLs) einfach zu definieren:

```
$ composer require annotations
```

Das Hinzufügen von Übersetzungsdiensten ermöglicht es uns, mehrsprachige Anwendungen zu definieren:

```
$ composer require symfony/translation
```

Hinzufügen von E-Mail-Versand-Funktion zum Projekt:

```
$ composer require symfony/swiftmailer-bundle
```

A4.1.3.3. Projektordner oder Projektverzeichnis

Nach der Installation aller notwendigen Pakete treffen wir auf die folgende Verzeichnisstruktur (andere Verzeichnisse und Dateien können je nach Version des Composer- und Symfony-Installationsprogramms vorhanden sein). Wir markieren die wichtigsten Dateien und Ordner fett (relative Pfade innerhalb des Projekt-Stammverzeichnisses):

<code>/.git</code>	<== Initial Git repository of Symfony (should be deleted)
<code>/bin</code>	<== Console (command line) entry points of the project
<code>/config</code>	<== Configuration files
<code>/public</code>	<== Web root: public entry point of the project
<code>/src</code>	<== Source code of the business logic
<code>/templates</code>	<== Original template folder (should be deleted)
<code>/translations</code>	<== Original translation folder (should be deleted)
<code>/var</code>	<== Various content: cache, logs
<code>/vendor</code>	<== 3 rd party libraries
<code>.env</code>	<== Local environment configurations
<code>composer.json</code>	<== Composer's configuration file

```
composer.lock    <== Composer's data file of "last known configuration"
symfony.lock     <== Symfony's data file of "last known configuration"
```

Das Quellcode-Repository von VADb enthält mehrere Dateien in mehreren Verzeichnissen. Um Verwirrung zu vermeiden und unser Repository komplett von dem von Symfony zu trennen, haben wir das ursprüngliche `/ .git` Verzeichnis gelöscht und durch unser eigenes ersetzt, indem wir unseren Git Repository Ordner in unser Projektverzeichnis kopiert haben.

Neuere Symfony-Versionen legen `/templates` und `/translations` direkt im Projekt-Stammverzeichnis ab, allerdings wurden früher alle Quelldateien der Geschäftslogik komplett im `/src` -Ordner aufbewahrt (hauptsächlich aus Gründen der Portabilität). Wir versuchen, dieser Tradition zu folgen, deshalb sollten diese beiden Ordner gelöscht werden, da wir sie durch symbolische Links ersetzen (siehe Kapitel A4.1.3.4.).

A4.1.3.4. Inhalt unseres Git Repositorys: die Geschäftslogik

Nach dem Kontrollieren unseres Git-Repositorys werden folgende Änderungen im Projekt-Stammverzeichnis (auch relative Pfade) vorgenommen:

1. Im `/bin` Ordner werden die Konsolenbefehle angepasst.
2. Im `/config` Ordner werden die Konfigurationsdateien angepasst.
3. Der `/download` Ordner erscheint mit einer Shell-Befehlsdatei. Dieser Befehl `scriptcron.sh` initiiert die Ausführung von Python-Skripten auf Tasks (siehe 5.3.3).
4. Der `/migrations` Ordner erscheint, der mehrere PHP-Dateien mit Datenbank-Änderungen SQL-Abfragen enthält. Ursprünglich wurden diese Dateien während eines speziellen Konsolenbefehls ausgeführt, um die leere Datenbank (Tabellen erstellen und ändern) für die Anwendung anzupassen. Diese SQL-Abfragen sollen die endgültige Datenbank inkrementell aufbauen. Während der Entwicklung haben wir diese PHP-Skripte jedoch deaktiviert (durch Hinzufügen eines Unterstriches zu ihrer Dateinamenerweiterung: `.php_`), da ihr inkrementeller Inhalt in einigen Entwicklungsphasen zu unerwünschten Änderungen an der Datenbank führen würde. Stattdessen stellen wir einen kompletten SQL-Dump der Datenbank zur Verfügung, behalten diese Skripte jedoch zu Studienzwecken im Projektarchiv.
5. Im Ordner `/public` erscheinen der angepasste öffentliche Einstiegspunkt (`index.php`) und ein deaktiviertes Preset-Skript (`preset.php_`). Letzteres sollte aktiviert sein (durch Entfernen des Unterstrichzeichens aus der Dateinamenerweiterung) und über einen Internetbrowser ausgeführt werden. (Bei Betriebssystemen, auf denen keine symbolischen Links erstellt werden können, sollten die Link-Ordner als physische Ordner angelegt und mit dem Inhalt ihrer jeweiligen Asset-Unterverzeichnisse gefüllt werden.) Wenn Sie dieses Skript ausführen, wird folgendes passieren:
 - Der symbolische Link `/templates` wird erstellt, der auf das Verzeichnis `/src/Assets/views` abzielt.
 - Der symbolische Link `/translations` wird erstellt, der auf das Verzeichnis `/src/Assets/translations` abzielt.

- Der symbolische Link `/public/assets` wird erstellt, der auf das Verzeichnis `/src/Assets/public` abzielt.
6. Im `/src` Ordner werden alle Quellcode-Dateien befüllt.
 7. Im Projekt-Stammverzeichnis wird eine Datei `howto.txt` erstellt, die einige informelle Entwickler-Notizen enthält.

A4.1.3.5. Umgebungskonfiguration

Symfony spezifiziert Umgebungen, um Entwicklung (oder Test) und Produktionsnutzung der Anwendung zu unterscheiden. Die Umgebungsspezifischen Konfigurationen werden in der `.env`-Datei im Projekt-Stammverzeichnis gespeichert, die einige der wichtigsten Konfigurationsparameter angibt, darunter:

- `APP_ENV` (Anwendungsumgebung) Variable die “prod”, “test” oder “dev” sein kann.
- `DATABASE_URL`: Diese URL gibt die Eigenschaften der Datenbankverbindung an.
- `MAILER_URL`: Diese URL gibt die Eigenschaften der Mailserver-Verbindung an.

A4.1.4. Webserver-Initialisierung

Die Anwendung ist für den Betrieb mit einem Apache-Webserver konzipiert. Allerdings können auch viele andere Serveranwendungen diese Rolle übernehmen (z. B. Nginx). In dieser Dokumentation wird ein Ansatz zur Verwendung und Konfiguration von Apache vorgestellt, um VADb von seinem Projektstamm aus bedienen zu können.

Durch definieren von virtuellen Hosts, ist Apache in der Lage, mehrere Hosts aus verschiedenen Arbeitsverzeichnissen zu bedienen. In unserem Fall ist ein virtueller Host in der Konfigurationsdatei `/etc/apache2/sites-available/000-default.conf` (absoluter Pfad basierend auf dem Dateisystem root) definiert.:

```
<VirtualHost *:80>
    ServerName dedb.mine
    ServerAdmin dev@czmb.hu
    DocumentRoot /var/www/dedb/public
    ErrorLog ${APACHE_LOG_DIR}/dedb.mine.error.log
    CustomLog ${APACHE_LOG_DIR}/dedb.mine.access.log combined
    <Directory /var/www/dedb/public>
        Options FollowSymLinks
        AllowOverride All
        Require all granted
        DirectoryIndex index.php
    </Directory>
</VirtualHost>
```

Beachten Sie, dass diese virtuelle Hostkonfiguration “dedb” als Host-Alias verwendet. Dies war ein früherer Arbeitstitel für das Projekt, der später in “vadb” oder “VADb” geändert wurde. Generell könnte dieser Name alles sein, das einzig Wichtige ist, dass wir den gewählten Namen konsequent verwenden.

Beachten Sie auch, dass das in der Konfigurationsdatei des virtuellen Hosts verwendete Projektverzeichnis `/var/www/dedb/public` dem Standardmuster des Apache folgt. Natürlich

können wir unsere Projektdateien an beliebiger Stelle im Dateisystem ablegen, wir müssen nur sicherstellen, dass das Verzeichnis auch für den Apache-Benutzer zugänglich ist **www-data**.

Wenn das gewählte Arbeitsverzeichnis von **www-data** nicht erreichbar ist, können wir seinen Besitzer mit dem Befehl **chown** ändern. Wenn der Benutzer keine Lese-, Schreib- oder Ausführungsrechte für das Arbeitsverzeichnis hat, können wir diese mit dem **chmod** -Befehl gewähren.

Wenn wir den Laufzeitbenutzer des Apache ändern wollen, können wir dies tun, indem wir `/etc/apache2/envvars` bearbeiten und dann den Apache-Dienst mit dem **sudo service apache2 restart** Befehl neu starten.

A4.1.5 Sicherheit

Die Verwendung eines öffentlich zugänglichen Webservers könnte riskant sein, wenn wir keine dedizierte Firewall zwischen dem Rechner und dem Internet haben. Der Server selbst könnte jedoch eine Software-Firewall verwenden. Unser gewähltes Betriebssystem, Ubuntu, hat ein vorinstalliertes Betriebssystem namens **UFW** (Unkomplizierte Firewall: <https://help.ubuntu.com/community/UFW>). Eine Firewall soll unerwünschte Kommunikation nach innen (oder manchmal auch nach aussen) blockieren. In unserer Entwicklungskonfiguration blockiert die Firewall alle Ports, ausser:

- 80 (für einfache HTTP-Kommunikation),
- 443 (für sichere HTTP-Kommunikation) and
- 27322 (zur Anmeldung am Server via SSH zur Systemwartung).

Eine Firewall würde uns jedoch keinen vollständigen Schutz vor unerwünschtem eingehendem Datenverkehr bieten, wenn wir einige Netzwerk-Ports offen halten und die Benutzer sich via SSH mit ihren Passwörtern anmelden können (statt Authentifizierungsschlüssel zu verwenden). Zur Überwachung von Kennwortfehlern und Brute-Force-Angriffen in den Logfiles haben wir **Fail2ban** (https://www.fail2ban.org/wiki/index.php/Main_Page) installiert, das IP-Adressen für eine bestimmte Zeit abweisen kann. Für diese Schutzart kann auch **SSHGuard** (<https://sshguard.net/>) verwendet werden.

Das sind die grundlegendsten Sicherheitsmaßnahmen. In der Produktion sollte ein solcher Server mit ausgefeilteren Sicherheitslösungen ausgestattet (oder abgesichert) sein.

A4.1.6. Cache des vorkompilierten Quellcodes

Symfony verwendet Cache für seine Vorlagen-, Übersetzungs- und Klassenautomatik. Der Cache-Ordner befindet sich unter `/var/cache` (relativer Pfad innerhalb des Projekt-Stammverzeichnisses), der einen Unterordner mit dem gleichen Namen wie die in der `.env` - Konfiguration angegebene Umgebung enthält. In einer Produktionsanwendung wird der Cache also im Verzeichnis `/var/cache/prod` (relativ zum Projektverzeichnis) gespeichert.

Wenn sich im Quellcode etwas ändert (aufgrund eines Updates oder eines Hotfixes), kann es sein, dass sich die Anwendung wie früher verhält, da alte Codes noch im Cache-Ordner zwischengespeichert werden.

A4.1.6.1. Den Cache leeren – der offizielle Weg

Die offizielle Methode, den Cache zu aktualisieren, ist

```
$ php bin/console cache:clear --env=prod
```

im Projekt-Stammverzeichnis. Dies kann problematisch sein, wenn der Benutzer, der diesen Befehl ausführen möchte, nicht derjenige ist, dem der Cache-Ordner gehört (der Laufzeitbenutzer des Webservers: **www-data**, siehe Kapitel A4.1.4). Um das zu lösen, können wir dieses Kommando im Namen von **www-data** ausführen, indem wir unserem Kommando folgenden voranstellen:

```
$ sudo -u www-data php bin/console cache:clear --env=prod.
```

Das Suffix `--env=prod` kann beibehalten werden, wenn die Produktionsumgebung in der `.env`-Datei festgelegt ist (siehe Kapitel A4.1.3.5).

A4.1.6.2. Den Cache leeren – der leichte Weg

Die inoffizielle (aber einfachere) Möglichkeit, den Symfony-Cache zu aktualisieren, besteht darin,

- den umgebungsspezifischen Cache-Ordner umbenennen (z.B. in `prod_`), dann
- die Anwendung neu laden (im Hintergrund regeneriert das Symfony-Framework automatisch den Cache) und schließlich
- den alten (umbenannten) Cache-Ordner löschen.

Dieser Ansatz könnte jedoch bei einer stark frequentierten Website sehr riskant sein, da nach der Umbenennung (Beseitigung) des zwischengespeicherten Codes gleichzeitige Anfragen versuchen, den Cache-Ordner neu zu füllen, und diese sich möglicherweise überschneiden, was zu unvorhersehbaren und wahrscheinlich fehlerhaften Cache-Inhalten führen kann.

A4.1.7. Geplante Skriptausführung

Für die symmetrische Energienutzung wird fast jede wesentliche Aufgabe von VADb als planmäßiger CRON-Job ausgeführt. Mit dem integrierten `crontab`-Mechanismus von Linux werden zwei Konsolenbefehle für die minutenlange Ausführung eingerichtet. Diese Aufgaben werden in `/etc/crontab` (absoluter Pfad) festgelegt.

A4.1.7.1. "Aufgabenplan"

Einer der `crontab`-Befehle ist verantwortlich für (in priorisierter Reihenfolge)

1. die Ausführung der geplanten Tasks (siehe Kapitel 5.3.3.),
2. die Berechnung der geschätzten Anzahl der Ergebnisse von gespeicherten Abfragen (siehe Kapitel 5.3.2.),
3. die Verarbeitung hochgeladener Dokumente (siehe Kapitel 5.3.1.),
4. die Suche nach unkomprimierten CSV-Ergebnissen von Aufgaben (und deren Komprimierung in ein ZIP-Paket),

5. Löschen der CSV-Ergebnisse von fehlgeschlagenen und leeren Aufgaben (zu Wartungszwecken),
6. Löschen von verwaisten CSV-Ergebnissen (ohne Task) und leeren Ordnern (für Wartungszwecke).

Diese Aufgaben sind in einem Konsolenbefehl (**TaskScheduleCommand**) implementiert, der in der **crontab** wie folgt aufgerufen wird (der Pfad ist absolut)

```
* * * * * www-data php /var/www/dedb/bin/console task:schedule
```

Diese Konfiguration führt dieses Skript im Namen des Benutzers **www-data** (um Zugriff auf die Projektverzeichnisse zu haben) in jeder Minute jeder Stunde jedes Tages jedes Monats aus... Dies ist der Grund, warum der Benutzer nach dem Hochladen einiger CSV-Dokumente (siehe Kapitel 5.3.1.) oder dem Starten einer Task-Ausführung (siehe Kapitel 5.3.3.) möglicherweise einige Sekunden warten muss, bevor die Systemuhr den Zeitpunkt 0 Sekunden erreicht, um etwas Wichtiges zu starten.

A4.1.7.2. Python Skriptausführung

Wenn ein Task beendet ist, können die Benutzer die Ausführung eines Python-Skripts veranlassen (siehe Kapitel 5.3.3.). In diesem Moment wird ein Shell-Skript in **/dedb/download/scripts** erstellt, das nur in einem begrenzten Zeitrahmen ausgeführt werden kann (um eine überlappende Skriptausführung zu vermeiden). Diese Skripte werden durch einen weiteren minutengenauen **crontab**-Befehl ausgelöst (die Pfade sind absolut und der Befehl sollte als eine Zeile gelesen werden):

```
* * * * * www-data /var/www/dedb/download/scriptcron.sh >>
/var/www/dedb/var/log/cronedpython.log 2>&1
```

Die Ausgabe dieses Skripts wird zu Entwicklungs- und Debugging-Zwecken in einer Protokolldatei gesammelt.

Die Verknüpfung der Python-Skripte mit den zugehörigen Thesen sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt. Jedes Skript hat eine eigene zugehörige Funktion „fun_plot.py“ zur Erstellung der Diagramme.

Tabelle A4-1: Zuordnung der Python-Skripte zu den zugehörigen Thesen

These	Python-Skript
T1-2a	T1-2a.py
T1-8	T1-8.py
T1-3	T1-3.py
T1-4	T1-3.py
T1-3b	T1-3_Nebel.py
T3-6	T3-6.py
T3-1a	T3-1a.py
T3-9a	T3-9a.py
T-3-8	T-3-8.py

Fortsetzung Tabelle A4-1: Zuordnung der Python-Skripte zu den zugehörigen Thesen

These	Python-Skript
T1-9a	T1-9a.py
T1-13	T1-13.py
T1-10	T1-10.py
T1-11	T1-11.py

A4.1.8. Datenbank

Das VADb-Projekt verwendet eine der bekanntesten SQL-Datenbanklösungen: MySQL Community Server. Andere SQL-Varianten (z. B. MariaDB, PostgreSQL oder Microsoft SQL Server) oder sogar NoSQL-Architekturen (MongoDB) könnten ebenfalls verwendet werden, aber das Hauptkonzept dieser Entwicklung war es, einfach zu verstehen, einfach zu folgen und einfach zu warten und zu rekonstruieren.

A4.1.8.1. Schema und Tabellen

Nach der Installation von MySQL sollte eine Datenbank (oder ein Schema) erstellt werden. Dieses Schema ist der Platz für die Datentabellen von VADb. Derzeit wird die folgende Schema-Tabellen-Struktur erstellt:

```
dedb4
  calendar
  data
  data_mq
  data_mq_infrastruktur
  dbuser
  doctrine_migration_versions
  document
  image
  query
  task
```

Die Tabellen `doctrine_migration_versions` und `image` werden nicht besonders genutzt. Die erste dient dem Migrationsmechanismus von Symfony's ORM (Object Relation Mapping) Subsystem Doctrine (siehe Kapitel A4.1.3.4.). Es wird nur während der Entwicklung verwendet, kann aber danach komplett gelöscht werden. Die zweite ist an eine PHP-Entität (Klasse) gebunden, die im aktuellen Entwicklungsstadium ebenfalls nicht verwendet wird, aber die Tabelle sollte intakt bleiben.

Es gibt einige Tabellen, die im Voraus befüllt werden (nicht über die Anwendung durch die Benutzer): `calendar`, `data_mq` und `data_mq_infrastruktur` sind "verbundene" Tabellen, die durch Abfragen gefiltert werden können (siehe Kapitel A4.2.3.5.). Diese drei Tabellen können mit einem speziellen Konsolenbefehl (`TaskScheduleCommand`) aufgefüllt werden. Nachdem diese Tabellen neu erstellt wurden, müssen die entsprechenden CSV-Dateien in den Ordner `/upload/joined` (relativer Pfad im Projektstamm) gelegt und der folgende Konsolenbefehl ausgeführt werden (wobei alle CSV-Dateinamen korrekt angegeben und im Quellcode unkommentiert sein müssen):


```
$ sudo -u www-data php /var/www/dedb/bin/console joinedtable:load
```

Andererseits speichert **dbuser** Benutzerdaten und kann direkt von MySQL aus bearbeitet werden, da es derzeit keine GUI zum Hinzufügen, Entfernen oder Bearbeiten von Benutzern für VADb gibt. Siehe Kapitel 5.3.5. zum Hinzufügen neuer Benutzer zur Anwendung.

A4.1.8.2. Datenbank-Benutzer

Nach der Installation von MySQL sollte ein Benutzer angelegt werden, der nicht der Root-Benutzer ist und explizit an die Datenbank (oder das Schema) der Anwendung gebunden werden kann. Dieser Benutzer

- heißt **phpAtMine** (wie derjenige, der von PHP auf der Datamining-Anwendung verkörpert werden kann),
- kann sich nur lokal anmelden (sein vollständiger Name ist also `'phpAtMine'@'localhost'`),
- ist mit allen Rechten auf jeder Datenbank ausgestattet.

Durch die Beschränkung der Benutzer auf den lokalen Zugriff können wir die Datenbank vor unerwünschten Fernzugriffsversuchen schützen (sie können jedoch immer noch durch eine Firewall zurückgehalten werden, siehe Kapitel A4.1.5.). Dies bedeutet, dass die Geschäftslogik der Anwendung und der Datenbankserver auf demselben Rechner installiert werden sollten.

In einer Mehrzweck-Produktionsumgebung ist es ratsam, Datenbankbenutzer auf eine bestimmte Datenbank zu beschränken (nicht auf alle Datenbanken), damit ein Softwarefehler nicht dazu führen kann, dass ein Dienst unerwünscht auf die Daten eines anderen Dienstes zugreift. Da VADb für ein einzelnes Entwicklungsprojekt gedacht ist, war es nicht notwendig, **phpAtMine** auf das einzige Schema in der Datenbank zu beschränken. In `DATABASE_URL` (in der `.env`-Konfiguration, siehe Kapitel A4.1.3.5.) geben wir jedoch an, welches Schema vom Datenbankbenutzer verwendet werden soll:

```
DATABASE_URL=mysql://phpAtMine:*****@localhost:3306/dedb4?serverVersion=8.0
```

Diese URL gibt an, dass wir die Datenbank MySQL 8.0 verwenden, dass wir uns mit ihr vom lokalen Host über Port 3306 verbinden und dass unser gewähltes Schema **dedb4** ist (siehe Kapitel A4.1.8.1.).

A4.1.9. Mailing

Die Anwendung sendet gelegentlich E-Mails an die Benutzer. Derzeit lösen die folgenden Ereignisse den E-Mail-Versand aus:

- Passwort Änderung,
- einfache Anmeldung.

Frühere Pläne sahen vor, dass Benutzer benachrichtigt werden sollten, wenn eine lang andauernde (oder in ferner Zukunft geplante) Task-Ausführung beendet ist, aber diese Funktion wurde in dieser Version von VADb nicht implementiert.

Um eine E-Mail zu versenden, muss das System eine Verbindung zu einem SMTP-Server (Simple Mail Transfer Protocol) herstellen können. Die Eigenschaften der Verbindung zu

diesem Server werden in der Variablen **MAILER_URL** in der Konfigurationsdatei `.env` wie folgt festgelegt:

```
MAILER_URL=smtp://yourmailserver.de:465?encryption=ssl&auth_mode=login&username  
=user@email.de&password=*****
```

Die URL gibt an, dass die Anwendung das **smtp** -Protokoll verwenden soll, um sich mit dem durch den angegebenen Hostnamen und Port spezifizierten Mailserver zu verbinden, und gibt die Art der Verschlüsselung (**ssl**) sowie den Authentifizierungsmodus (**login**) und die Anmeldedaten (**user name** and **password**) an.

A4.2. Anwendung

Nach der Installation und dem Ausführen der Anwendungsdienste (siehe Kapitel A4.1.2.) ist der Zugriff auf diese nur über die webbasierte Benutzeroberfläche mittels Webbrowser möglich. Nutzer benötigen PCs oder mobile Endgeräte (z.B. Tablets oder Smartphones) mit entsprechendem Netzwerkzugang zum Server. Benutzer haben keinen direkten Zugriff auf die Serverressourcen.

A4.2.1. Benutzerauthentifizierung

Beim Öffnen der Applikation muss sich der Benutzer mit seinem Benutzernamen oder seiner E-Mail-Adresse und seinem eigenen Passwort authentifizieren (s. Abb. A4-1).

Vergessene Passwörter können durch Anforderung eines Passwörterneuerungslinks ersetzt werden. Dieser Link führt den Benutzer auf eine bestimmte und zeitlich begrenzte Seite, auf der ein neues Passwort gesetzt werden kann. Nach Setzen des neuen Passworts kann sich der Benutzer auf der Login-Seite authentifizieren.

Benutzer können sich auch durch einfaches Login authentifizieren. Auf diese Weise benötigen die Benutzer kein Passwort, das System sendet einen speziellen (auch zeitlich begrenzten) Link für ihre E-Mail-Adresse, um sich per Klick einzuloggen (s. Abb. A4-2).

A4.2.2. Hauptmenü

Als Ergebnis der neuesten Entwicklung bietet die Applikation folgende Dienste (zugänglich über das Hauptmenü):

- Hochladen von Daten (s. Bericht Abb. 5-1)
 - Der Benutzer kann CSV-Rohdateien hochladen (Upload mehrerer Dateien ist möglich),
 - den Fortschritt des Uploads in Echtzeit sehen und
 - Liste (und Filter) bereits hochgeladener "Dokumente" filtern.
- Abfrage (s. Bericht Abb. 5-2)
 - Der Benutzer kann erstellen,
 - bearbeiten ,
 - löschen,
 - kopieren und
 - Abfragen ausführen (sofort oder geplant).
- Vorgänge (s. Bericht Abb. 5-3)
 - Der Benutzer kann auflisten,
 - überwachen,
 - unterbrechen,
 - Aufgaben zurücksetzen (initiierte Abfragen),

Anmelden!

[Ich habe mein Passwort vergessen.](#)

Abbildung A4-1: Anmeldemaske

Erhalte einen Berechtigungslink!

Tippe deinen Benutzernamen oder deine E-Mail-Adresse ein, beantworte die Sicherheitsfrage und wir werden Ihnen eine E-Mail mit einem einmaligen Login-Autorisierungs-Link schicken.

Sicherheitsfrage

Abbildung A4-2: Maske „einfacher Login“

- ZIP-komprimierte Aufgabenergebnisse herunterladen (Ergebnisse als CSV, Abfrageparameter als JSON) und
- die Ausführung eines Python-Skripts für die Ergebnisse der Aufgabe einleiten und
- die ZIP-komprimierten Ergebnisse herunterladen (Diagrammbilder und CSV-Ausgabe)).

A4.2.3. Beispielhafter Arbeitsablauf

Beim Öffnen der Anwendung in einem Webbrowser sollte sich der Benutzer mit seinen Zugangsdaten (Benutzername und Passwort) anmelden. Wenn der Benutzer sein Passwort vergessen hat, kann es durch Klicken auf den Link "Ich habe mein Passwort vergessen" erneuert werden. Oder er kann sich mit einfachem Login anmelden, indem er seinen Benutzernamen eingibt, dann sendet ihm die Anwendung eine E-Mail mit einem einmaligen Login-Link darin.

Anstelle des eindeutigen Benutzernamens können sich Nutzer auch über ihre E-Mail-Adresse anmelden. Es ist gut zu wissen, dass E-Mails nicht einmalig sein müssen. Wenn also eine gemeinsame E-Mail-Adresse für mehrere Benutzer festgelegt ist, weiß das System nicht, welcher Benutzer sich anmeldet oder um eine Passwortverlängerung oder einen Easy-Login-Link bittet. Wir empfehlen daher, für die Anmeldung bei VADb Benutzernamen anstelle von E-Mail-Adressen zu verwenden.

In den folgenden Abschnitten wird ein einfacher Workflow als Beispiel für die Anwendung vorgestellt.


A4.2.3.1. Füllen der Hauptdatentabelle

Auf der Seite Datenupload können Benutzer CSV-Rohdaten hochladen. Die Struktur und das Format der akzeptablen CSV-Dateien sind in der Detailversion dieser Dokumentation festgelegt. Nach der Auswertung werden die hochgeladenen und formatierten Daten in die Datenbank eingefügt.

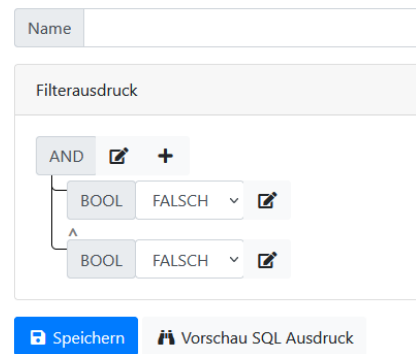
– Technische Anmerkung: Momentan ist die Datensatzmultiplikation erlaubt, so dass für ein bestimmtes [MQ – Zeitstempel] Paar mehrere Datensätze in die Haupttabelle eingefügt werden können. Daher ist beim Aktualisieren einzelner Datensätze oder beim Einfügen weiterer Datensätze besondere Sorgfalt geboten. In einer zukünftigen Version der Applikation sollte es eine eindeutige Tasteneinstellung für diese beiden Spalten (MQ und Datum Uhrzeit) geben und das manuelle Löschen von Datensätzen durch Datensatzaustausch ersetzen.

Auf dieser Benutzeroberfläche können mehrere CSV-Dateien ("Dokumente") hochgeladen werden und jeder Benutzer kann den Upload-Prozess verfolgen.

A4.2.3.2. Erstellen einer Abfrage

Auf der Seite Abfragen können Benutzer Abfragen erstellen. Der Filterausdruck beginnt wie in Abbildung A4-3 dargestellt standardmäßig mit einer Verknüpfung von zwei bool'schen Ausdrücken. Die Operatoren lassen sich durch einen Klick auf  individuell auswählen (s. Abb. A4-4). Im Zuge des Berichts kommt vor allem der der Operator „field“ zum Einsatz, wo sämtliche Metadaten nach dem Datenmodell aus Anhang 1 hinterlegt sind und somit einen Vergleich mit den gewünschten Parametern ermöglicht. Die Auswahl erfolgt in diesem Fall über ein Dropdown-Menü.

Fertige Abfragen können auch als visualisierte SQL-Ausdrücke vorgestellt werden (s. Abb. A4-5). Jeder verfügbare Operator kann einer SQL-Anweisung zugeordnet werden. Durch Drücken der Schaltfläche „Vorschau SQL-Ausdruck“ kann der Benutzer das auch überprüfen.



The screenshot shows a 'Filterausdruck' (Filter Expression) editor. At the top, there is a 'Name' field. Below it, the main area contains a logical structure: an 'AND' operator with a plus sign and an edit icon, connected to two 'BOOL' (boolean) operators. Each 'BOOL' operator has a dropdown menu currently set to 'FALSCH' (False) and an edit icon. At the bottom of the editor, there are two buttons: 'Speichern' (Save) and 'Vorschau SQL Ausdruck' (Preview SQL Expression).

Abbildung A4-3: Standardaufbau eines neu erstellten Filterausdrucks

Eingestellte Operatoren ×

Operator zum Einstellen	Bedeutung
AND	Logical and
BETWEEN	Zwischen
BOOL	Boolesche Variable
EQ	Entspricht
FIELD	Feld
GT	Größer als
GTE	Größer als oder gleich
IN	Wert in Zeitraum
LIKE	Wie
LT	Kleiner als
LTE	Kleiner als oder gleich
NEQ	Nicht gleich
NOT	Logische Verneinung
OR	Logical or
QUERY	Abfragen, die bereits geschrieben sind

Abbrechen

Abbildung A4-4: Auswahl möglicher Operatoren

Ausdruck


```
SELECT * FROM `data` AS `_t0` WHERE (((`_t0`.`v_kfz`) > (:int8)) AND ((`_t0`.`q_kfz`) > (:int47)) AND (((`_t0`.`mq`) LIKE (:str126)) AND (NOT((`_t0`.`datum_uhrzeit`) LIKE (:str129)))) OR ((`_t0`.`mq`) LIKE (:str60)) OR (((`_t0`.`mq`) LIKE (:str82)) AND ((NOT((`_t0`.`datum_uhrzeit`) LIKE (:str109)))) AND (NOT((`_t0`.`datum_uhrzeit`) LIKE (:str112)))) AND (NOT((`_t0`.`datum_uhrzeit`) LIKE (:str116)) AND (NOT((`_t0`.`datum_uhrzeit`) LIKE (:str120)))) AND (NOT((`_t0`.`datum_uhrzeit`) LIKE (:str124)))))) OR ((`_t0`.`mq`) LIKE (:str101)) AND (((`_t0`.`schaltung_gefahr`) = (:int71)) OR ((`_t0`.`schaltung_gefahr`) = (:int73)) OR ((`_t0`.`schaltung_gefahr`) = (:int69)) OR ((`_t0`.`schaltung_gefahr`) = (:int76))));
```

Parameter

```
:int8 ← 0
:int47 ← 0
:str126 ← MQ A4.22%
:str129 ← 2019-07-22%
:str60 ← Manching FR2%
:str82 ← MQ 27.10%
:str109 ← 2020-08-20%
:str112 ← 2020-08-21%
:str116 ← 2020-08-22%
:str120 ← 2020-08-23%
:str124 ← 2020-08-24%
:str101 ← MQ 27.11%
:int71 ← 0
:int73 ← 2
:int69 ← 4
:int76 ← 5
```




Abbrechen


Abbildung A4-5: Exemplarische Vorschau eines SQL Ausdrucks

Nach dem Benennen und Speichern einer Abfrage wird diese in der rechten Seitenliste aufgelistet. Benutzer können die Abfragen der anderen sehen und über  laden, aber sie können nur ihre eigenen bearbeiten und löschen.

Beim Speichern einer Abfrage kann deren Initiierung auf ein bestimmtes Datum (und Uhrzeit) festgelegt oder sofort gestartet werden. In jedem Fall wird eine neue Task-Entität erstellt, die auf der Seite Aufgaben der Benutzeroberfläche aufgeführt ist.

A4.2.3.3. Ausführung und Überwachung von Aufgaben

Im Abschnitt „Vorgänge“ können die Benutzer die jeweils anderen und ihre eigenen Aufgaben einsehen. Laufende Tasks können unterbrochen , gestoppte Tasks mit  zurückgesetzt oder gelöscht werden .

Die Ergebnisse erfolgreich abgeschlossener Aufgaben (grün) können als ZIP-komprimierte Datei über  heruntergeladen und die Anzahl der Datensätze in der letzten Spalte abgelesen werden.

Unterbrochene oder fehlgeschlagene Aufgaben (rot) können zurückgesetzt oder neu gestartet werden. Wenn eine bestimmte Fehlermeldung angezeigt wird, kann sie in der weiteren Analyse oder Debugging-Prozess verwendet werden.

Mit erfolgreich abgeschlossenen Vorgängen können Benutzer Python-Skripte ausführen. In diesem lokalen Dropdown-Menü sind die Bezeichnungen der einzelnen Thesen zu sehen. Wenn ein Skript zur statistischen Auswertung eines Vorgangs gestartet wird, ist der Menüeintrag deaktiviert und ein animiertes Fortschritts-Icon ist darauf zu sehen. Nach erfolgreicher Skriptausführung wird das Fortschritts-Icon in ein Download-Symbol geändert

und der Menüpunkt ist wieder aktiv. Ein Klick darauf startet jedoch den Download der ZIP-komprimierten Skript-Ergebnisse. Der Inhalt dieses ZIP-Pakets hängt vom jeweiligen Python-Skript ab.

Das Neustarten einer Python-Skript-Ausführung ist nur nach dem Zurücksetzen des entsprechend abgeschlossenen Vorgangs möglich.

A4.2.3.4. Abmeldung

Nach Beendigung der Arbeit können Anwender die Anwendung verlassen, indem sie auf das Abmelden-Menü klicken.

A4.2.3.5. Hinzufügen eines neuen Benutzers

Um einen Benutzer hinzuzufügen, muss man sich direkt mit der MySQL-Datenbank verbinden und mit der folgenden Anweisung eine Zeile in die Tabelle **dbuser** einfügen:

```
INSERT INTO `dbuser` (`username`, `password`, `role_bits`, `fullname`, `email`,
`created_at`, `modified_at`) VALUES ('unique_username', 'anyrandomcharacters', 3,
'User Full Name', 'user@email.de', NOW(), NOW());
```

Zu beachten:

- **username** muss einzigartig sein,
- **password** kann nicht vordefiniert werden (sodass wir in die Datenbank etwas Zufälliges schreiben können), da es vom Benutzer selbst auf dem Anmeldebildschirm der Anwendung erneuert werden muss,
- **role_bits** ist eine ganze Zahl, die die Werte verschiedener Rollen (ROLE_USER: 0x01 und ROLE_ADMIN: 0x02) mittels bitweiser OR Operation zusammenführt,
- **email** sollte die ausschließliche E-Mail-Adresse des hinzugefügten Benutzers selbst sein, da sie eine wichtige Rolle für die Sicherheit spielt: Benutzer können ihr Passwort erneuern oder sich einfach über Nachrichten anmelden, die von der Anwendung an ihre eigene Mailbox gesendet werden.

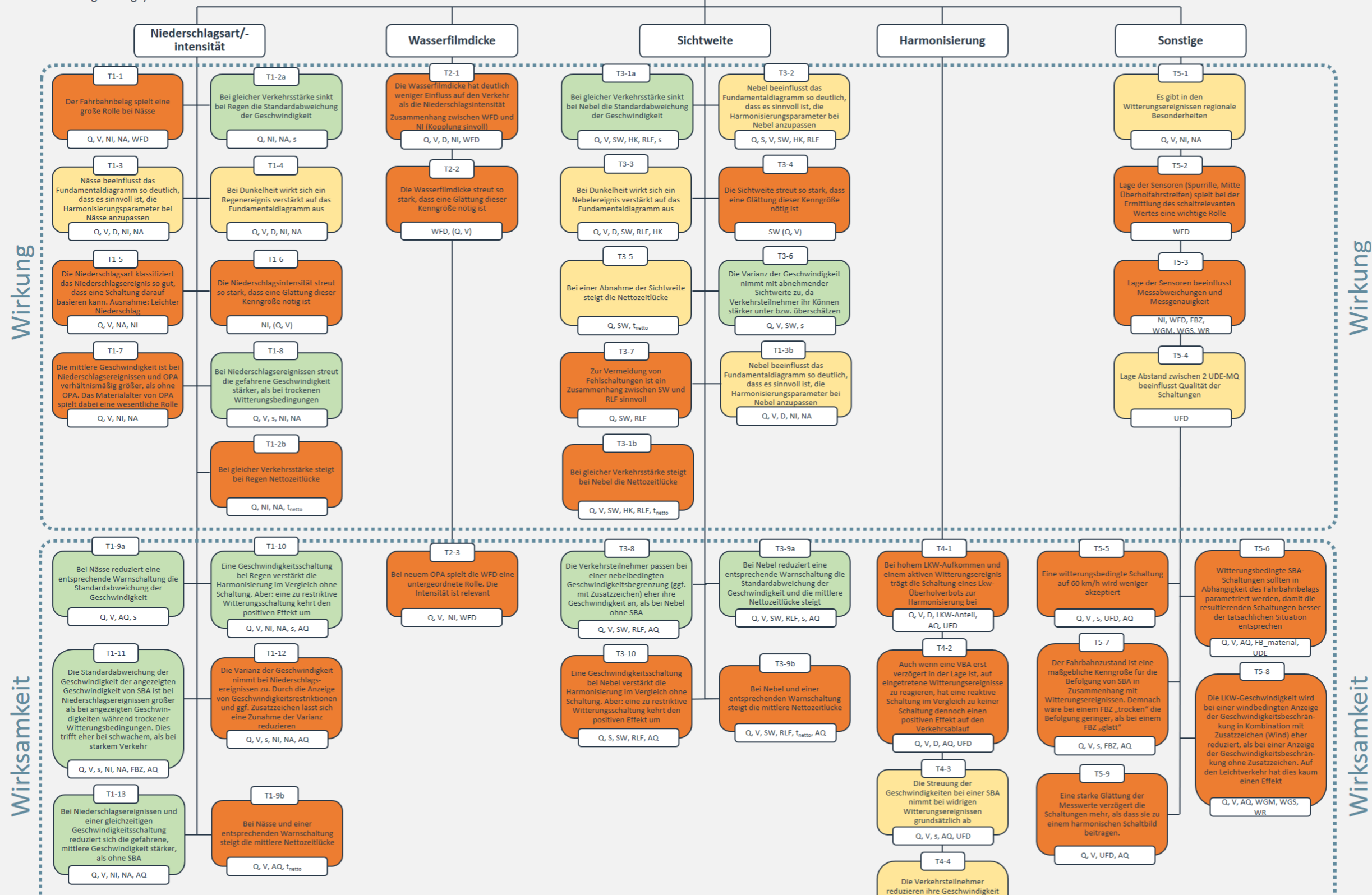
Anhang 5: Auswahl Wirkungs- und Wirksamkeitsthesen

These	Beschreibung	Stufe
T1-13	Bei Niederschlagsereignissen und einer gleichzeitigen Geschwindigkeitsschaltung reduziert sich die gefahrene, mittlere Geschwindigkeit stärker, als ohne SBA	1
T3-6	Die Varianz der Geschwindigkeit nimmt mit abnehmender Sichtweite zu, da Verkehrsteilnehmer ihr Können stärker unter bzw. überschätzen	1
T1-2a	Bei gleicher Verkehrsstärke sinkt bei Niederschlag die Standardabweichung der Geschwindigkeit	1
T1-9a	Bei Nässe reduziert eine entsprechende Warnschaltung die Standardabweichung der Geschwindigkeit	1
T3-8	Die Verkehrsteilnehmer passen bei einer nebelbedingten Geschwindigkeitsbegrenzung (ggf. mit Zusatzzeichen) eher ihre Geschwindigkeit an, als bei Nebel ohne SBA	1
T3-9a	Bei Nebel reduziert eine entsprechende Warnschaltung die Standardabweichung der Geschwindigkeit	1
T1-8	Bei Niederschlagsereignissen streut die gefahrene Geschwindigkeit stärker, als bei trockenen Witterungsbedingungen	1
T3-1a	Bei gleicher Verkehrsstärke sinkt bei Nebel die Standardabweichung der Geschwindigkeit	1
T1-10	Eine Geschwindigkeitsschaltung bei Niederschlag verstärkt die Harmonisierung im Vergleich ohne Schaltung. Aber: eine zu restriktive Witterungsschaltung kehrt den positiven Effekt um	1
T1-11	Die Standardabweichung der Geschwindigkeit der angezeigten Geschwindigkeit von SBA ist bei Niederschlagsereignissen größer als bei angezeigten Geschwindigkeiten während trockener Witterungsbedingungen. Dies trifft eher bei schwachem, als bei starkem Verkehr auf	1
T3-3	Bei Dunkelheit wirkt sich ein Nebelereignis verstärkt auf das Fundamentaldiagramm aus	2
T1-3	Nässe beeinflusst das Fundamentaldiagramm so deutlich, dass es sinnvoll ist, die Harmonisierungsparameter bei Nässe anzupassen	2
T1-4	Bei Dunkelheit wirkt sich ein Niederschlagsereignis verstärkt auf das Fundamentaldiagramm aus	2
T1-3b (Nebel)	Nebel beeinflusst das Fundamentaldiagramm so deutlich, dass es sinnvoll ist, die Harmonisierungsparameter bei Nebel anzupassen	2
T3-2	Nebel beeinflusst das Fundamentaldiagramm so deutlich, dass es sinnvoll ist, die Harmonisierungsparameter bei Nebel anzupassen	2
T3-5	Bei einer Abnahme der Sichtweite steigt die Nettozeitlücke	2
T4-3	Die Streuung der Geschwindigkeiten bei einer SBA nimmt bei widrigen Witterungsereignissen grundsätzlich ab	2
T5-4	Lage Abstand zwischen 2 UDE-MQ beeinflusst Qualität der Schaltungen	2
T5-1	Es gibt in den Witterungsereignissen regionale Besonderheiten	2
T4-4	Die Verkehrsteilnehmer reduzieren ihre Geschwindigkeit bei einer witterungsbedingten Anzeige der Geschwindigkeitsbeschränkung in Kombination mit Zusatzzeichen eher, als bei einer Anzeige der Geschwindigkeitsbegrenzung ohne Zusatzzeichen	2

These	Beschreibung	Stufe
T1-2b	Bei gleicher Verkehrsstärke steigt bei Niederschlag die Nettozeitlücke	3
T1-9b	Bei Nässe und einer entsprechenden Warnschaltung steigt die mittlere Nettozeitlücke	3
T3-1b	Bei gleicher Verkehrsstärke steigt bei Nebel die Nettozeitlücke	3
T3-9b	Bei Nebel und einer entsprechenden Warnschaltung steigt die mittlere Nettozeitlücke	3
T5-7	Der Fahrbahnzustand ist eine maßgebliche Kenngröße für die Befolgung von SBA in Zusammenhang mit Witterungsereignissen. Demnach wäre bei einem FBZ „trocken“ die Befolgung geringer, als bei einem FBZ "glatt"	3
T1-12	Die Varianz der Geschwindigkeit nimmt bei Niederschlagsereignissen zu. Durch die Anzeige von Geschwindigkeitsrestriktionen und ggf. Zusatzzeichen lässt sich eine Zunahme der Varianz reduzieren	3
T3-10	Eine Geschwindigkeitsschaltung bei Nebel verstärkt die Harmonisierung im Vergleich ohne Schaltung. Aber: eine zu restriktive Witterungsschaltung kehrt den positiven Effekt um	3
T4-1	Bei hohem LKW-Aufkommen und einem aktiven Witterungsereignis trägt die Schaltung eines Lkw-Überholverbots zur Harmonisierung bei	3
T5-5	Eine witterungsbedingte Schaltung auf 60 km/h wird weniger akzeptiert	3
T1-1	Der Fahrbahnbelag spielt eine große Rolle bei Nässe	3
T1-7	Die mittlere Geschwindigkeit ist bei Niederschlagsereignissen und OPA verhältnismäßig größer, als ohne OPA. Das Materialalter von OPA spielt dabei eine wesentliche Rolle	3
T2-1	Die Wasserfilmdicke hat deutlich weniger Einfluss auf den Verkehr als die Niederschlagsintensität Zusammenhang zwischen WFD und NI (Kopplung sinnvoll)	3
T5-6	Witterungsbedingte SBA-Schaltungen sollten in Abhängigkeit des Fahrbahnbelags parametrisiert werden, damit die resultierenden Schaltungen besser der tatsächlichen Situation entsprechen	3
T1-5	Die Niederschlagsart klassifiziert das Niederschlagsereignis so gut, dass eine Schaltung darauf basieren kann. Ausnahme: Leichter Niederschlag	3
T2-3	Bei neuem OPA spielt die WFD eine untergeordnete Rolle. Die Intensität ist relevant	3
T3-4	Die Sichtweite streut so stark, dass eine Glättung dieser Kenngröße nötig ist	3
T4-2	Auch wenn eine VBA erst verzögert in der Lage ist, auf eingetretene Witterungsereignisse zu reagieren, hat eine reaktive Schaltung im Vergleich zu keiner Schaltung dennoch einen positiven Effekt auf den Verkehrsablauf	3
T5-2	Lage der Sensoren (Spurrille, Mitte Überholfahrstreifen) spielt bei der Ermittlung des schaltrelevanten Wertes eine wichtige Rolle	3
T5-8	Die LKW-Geschwindigkeit wird bei einer windbedingten Anzeige der Geschwindigkeitsbeschränkung in Kombination mit Zusatzzeichen (Wind) eher reduziert, als bei einer Anzeige der Geschwindigkeitsbeschränkung ohne Zusatzzeichen. Auf den Leichtverkehr hat dies kaum einen Effekt	3
T1-6	Die Niederschlagsintensität streut so stark, dass eine Glättung dieser Kenngröße nötig ist	3
T2-2	Die Wasserfilmdicke streut so stark, dass eine Glättung dieser Kenngröße nötig ist	3
T3-7	Zur Vermeidung von Fehlschaltungen ist ein Zusammenhang zwischen SW und RLF sinnvoll	3
T5-3	Lage der Sensoren beeinflusst Messabweichungen und Messgenauigkeit	3
T5-9	Eine starke Glättung der Messwerte verzögert die Schaltungen mehr, als dass sie zu einem harmonischen Schaltbild beitragen.	3

- Hoher Fokus (10x)
- Mittlerer Fokus (10x)
- Geringer Fokus (24x, z.B. aufgrund der verfügbaren Datengrundlage)

**FE 03.0567/2018/IRB
Wirkungs- und
Wirksamkeitsthesen**



Anhang 6: Auswertung der Thesen

Inhalt

A6.1: These 1-2a und 1-8	3
MQ-Gruppe 2.....	3
MQ-Gruppe 3.....	4
MQ-Gruppe 4.....	6
MQ-Gruppe 7.....	9
MQ-Gruppe 8.....	11
A6.2: These 1-3a (Nässe) und 1-4.....	14
MQ-Gruppe 2.....	14
MQ-Gruppe 3.....	15
MQ-Gruppe 4.....	16
MQ-Gruppe 7.....	17
MQ-Gruppe 8.....	17
A6.3: These 1-3b (Nebel).....	18
MQ-Gruppe 2.....	18
MQ-Gruppe 4.....	19
MQ-Gruppe 7.....	20
A6.4: These 3-6.....	20
MQ-Gruppe 2.....	20
MQ-Gruppe 4.....	21
MQ-Gruppe 7.....	23
A6.5: These 3-1a.....	25
MQ-Gruppe 2.....	25
MQ-Gruppe 4.....	26
MQ-Gruppe 7.....	28
A6.6: These 3-9a und 3-8	30
MQ-Gruppe 1.....	30
MQ-Gruppe 4.....	30
MQ-Gruppe 5.....	32
MQ-Gruppe 6.....	33
MQ-Gruppe 7.....	34
MQ-Gruppe 8.....	36
MQ-Gruppe 9.....	37
A6.7: These 1-9a.....	38

MQ-Gruppe 1	38
MQ-Gruppe 4.....	38
MQ-Gruppe 5.....	39
MQ-Gruppe 6.....	40
MQ-Gruppe 7.....	40
MQ-Gruppe 8.....	41
MQ-Gruppe 9.....	42
A6.8: These 1-13	42
MQ-Gruppe 4.....	42
MQ-Gruppe 7.....	44
MQ-Gruppe 8.....	46
A6.9: These 1-10	48
MQ-Gruppe 1	48
MQ-Gruppe 4.....	50
MQ-Gruppe 5.....	51
MQ-Gruppe 6.....	52
MQ-Gruppe 7.....	53
MQ-Gruppe 8.....	53
MQ-Gruppe 9.....	56
A6.10: These 1-11	58
MQ-Gruppe 1	58
MQ-Gruppe 4.....	60
MQ-Gruppe 5.....	63
MQ-Gruppe 6.....	67
MQ-Gruppe 7.....	70
MQ-Gruppe 8.....	74
MQ-Gruppe 9.....	78

A6.1: These 1-2a und 1-8

MQ-Gruppe 2

Tabelle 0-1: Ergebnisse der statistischen Auswertung für den rechten Fahrstreifen für These 1-2a für MQ-Gruppe 2

rechter Fahrstreifen								
Zwei-Stichproben F-Test	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95							
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	16,020	11,196	16,773	11,716	15,038	10,619	11,470	7,860
Varianz	94,460	51,869	42,543	23,161	28,045	21,081	30,159	24,047
Beobachtungen	353914	388	455597	570	527977	606	130575	136
Freiheitsgrade (df)	353913	387	455596	569	527976	605	130574	135
Shapiro p-Wert	0	1,82E-10	0	1,00E-05	0	4,17E-08	0	2,73E-08
Levene p-Wert	4,32E-10		3,21E-12		1,078E-03		1,36E-02	
Prüfgröße (F)	1,821		1,837		1,33		1,254	
p-Wert F-Test	2,11E-14		1,11E-16		1,22E-06		4,01E-02	
Kritischer F-Wert	1,130		1,106		1,102		1,236	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-2: Ergebnisse der statistischen Auswertung für den linken Fahrstreifen für These 1-2a für MQ-Gruppe 2

linker Fahrstreifen										
Zwei-Stichproben F-Test	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]		2000 - 2500 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95									
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	15,464	9,996	14,644	10,965	12,724	9,669	11,407	8,323	9,867	7,630
Varianz	79,731	37,335	30,220	21,796	18,820	13,607	15,731	10,700	12,302	9,494
Beobachtungen	383957	448	320504	395	291695	332	136214	158	53420	46
Freiheitsgrade (df)	383956	447	320503	394	291694	331	136213	157	53419	45
Shapiro p-Wert	0	8,56E-15	0	1,02E-16	0	1,01E-09	0	1,37E-06	0	0,00017073
Levene p-Wert	1,899E-17		3,453E-07		8,972E-05		1,049E-03		2,537E-01	
Prüfgröße (F)	2,136		1,386		1,383		1,470		1,296	
p-Wert F-Test	1,110E-16		7,844E-06		4,259E-05		7,688E-04		1,342E-01	
Kritischer F-Wert	1,120		1,129		1,142		1,216		1,463	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein		nein		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen	

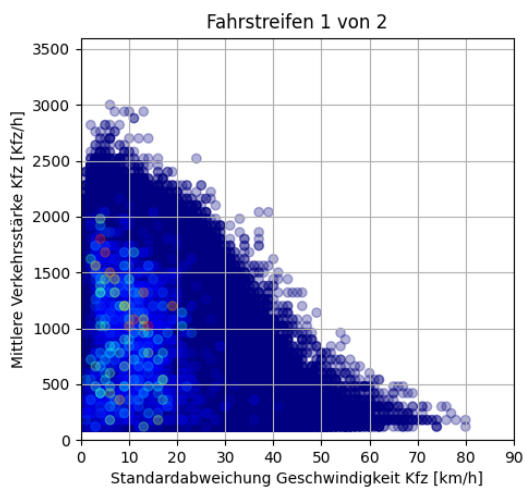


Abbildung 0-1: Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Niederschlagsintensitäten für den rechten Fahrstreifen für die These 1-2a und die MQ-Gruppe 2

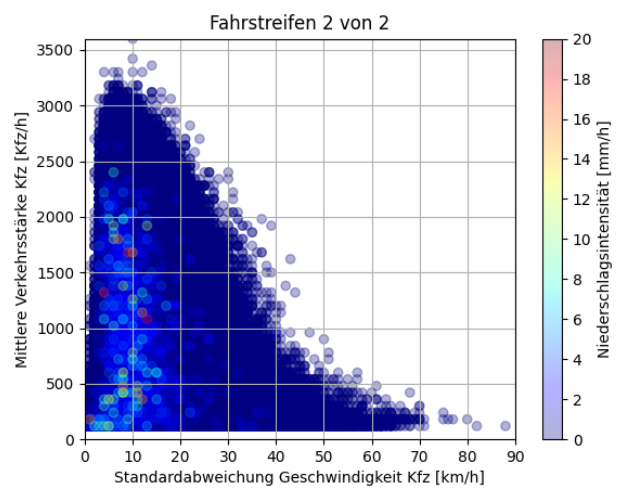


Abbildung 0-2: Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Niederschlagsintensitäten für den linken Fahrstreifen für die These 1-2a und die MQ-Gruppe 2

Tabelle 0-3: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 1-8 für MQ-Gruppe 2

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen		mittlerer Fahrstreifen	
	Signifikanzniveau 0,95			
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	14,898	10,538	10,779	7,773
Varianz	57,422	32,770	66,721	35,467
Beobachtungen	1531211	46305	1531211	1762
Freiheitsgrade (df)	1531210	46304	1531210	1761
Shapiro p-Wert	0	7,82E-16	0	3,62E-28
Levene p-Wert	1,592E-27		1,268E-48	
Prüfgröße (F)	1,752		1,881	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,110E-16	
Kritischer F-Wert	1,058		1,058	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

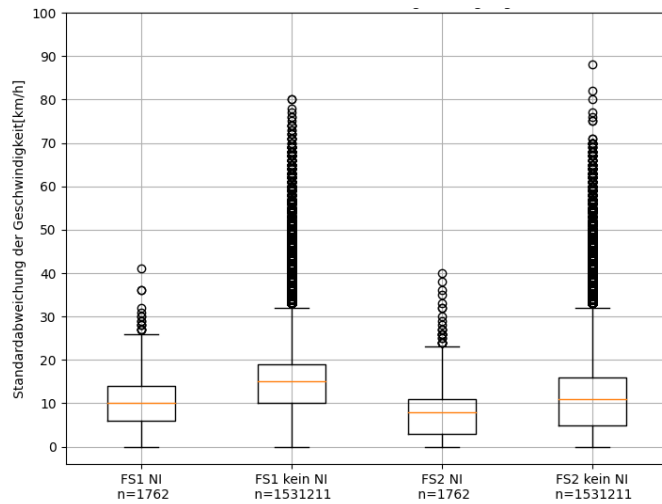


Abbildung 6-3: Ergebnisse der statistischen Auswertung für die These 1-8 für die MQ-Gruppe 2

MQ-Gruppe 3

Tabelle 0-4: Ergebnisse der statistischen Auswertung für den rechten Fahrstreifen für These 1-2a für MQ-Gruppe 3

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen									
	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]		2000 - 2500 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95									
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	15,517	12,177	14,855	11,725	12,716	9,970	10,074	7,625	7,052	5,673
Varianz	83,075	51,544	28,917	18,408	17,199	13,612	18,287	12,963	13,333	7,541
Beobachtungen	449834	11114	430723	11386	589850	17463	141918	3888	9172	162
Freiheitsgrade (df)	449833	11113	430722	11385	589849	17462	141917	3887	9171	161
Shapiro p-Wert	0	0,00E+00	0	2,05E-36	0	1,16E-39	0	1,39E-35	0	1,25E-09
Levene p-Wert	4,264E-133		5,867E-106		5,773E-65		3,836E-42		3,402E-05	
Prüfgröße (F)	1,612		1,571		1,263		1,411		1,768	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,110E-16		1,110E-16		1,110E-16		2,074E-06	
Kritischer F-Wert	1,023		1,022		1,018		1,039		1,215	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-5: Ergebnisse der statistischen Auswertung für den linken Fahrstreifen für These 1-2a für MQ-Gruppe 3

Zwei-Stichproben F-Test	linker Fahrstreifen											
	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]		2000 - 2500 [Kfz/h]		2500 - 3000 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95											
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	14,203	10,132	12,285	9,422	10,854	8,637	9,434	7,428	7,785	6,230	6,621	5,976
Varianz	68,727	34,323	22,176	12,939	14,686	9,451	12,553	8,567	10,159	5,726	6,585	6,121
Beobachtungen	359334	9918	361240	10371	333820	9286	137203	3891	49651	1100	11814	82
Freiheitsgrade (df)	359333	9917	361239	10370	333819	9285	137202	3890	49650	1099	11813	81
Shapiro p-Wert	0	0	0	4,48E-44	0	3,78E-44	0	2,12E-37	0	4,28E-22	0	4,60E-07
Levene p-Wert	1,824E-239		1,506E-197		8,859E-116		2,591E-43		2,392E-21		4,677E-01	
Prüfgröße (F)	2,002		1,714		1,554		1,465		1,774		4,68E-01	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,110E-16		1,110E-16		1,110E-16		1,110E-16		3,421E-01	
Kritischer F-Wert	1,024		1,024		1,025		1,039		1,075		1,321	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein		nein		nein		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen	

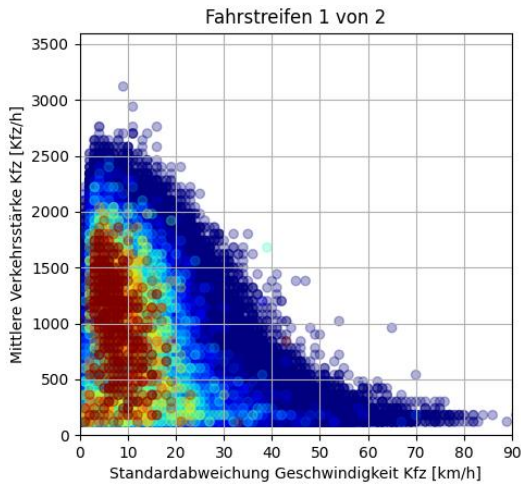


Abbildung 0-3: Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Niederschlagsintensitäten für den rechten Fahrstreifen für die These 1-2a und die MQ-Gruppe 3

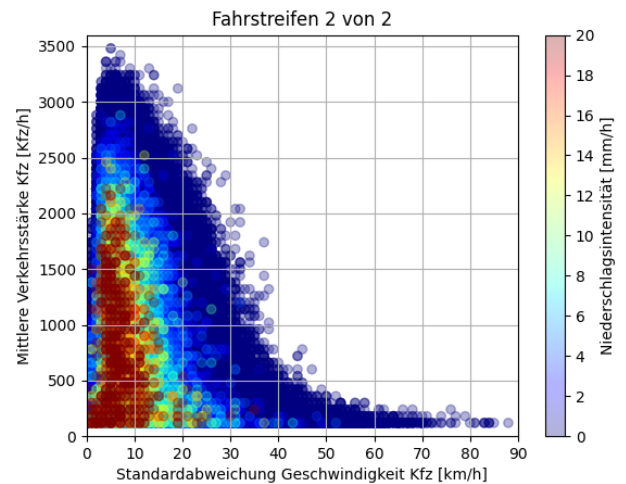


Abbildung 0-4: Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Niederschlagsintensitäten für den linken Fahrstreifen für die These 1-2a und die MQ-Gruppe 3

Tabelle 0-6: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 1-8 für MQ-Gruppe 3

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen		mittlerer Fahrstreifen	
	Signifikanzniveau 0,95			
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	13,262	10,429	8,838	6,930
Varianz	46,961	28,940	53,191	28,935
Beobachtungen	1720741	45403	1720740	45403
Freiheitsgrade (df)	1720740	45402	1720739	45402
Shapiro p-Wert	0	0	0	0
Levene p-Wert	0		0	
Prüfgröße (F)	1,623		1,838	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,110E-16	
Kritischer F-Wert	1,011		1,011	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

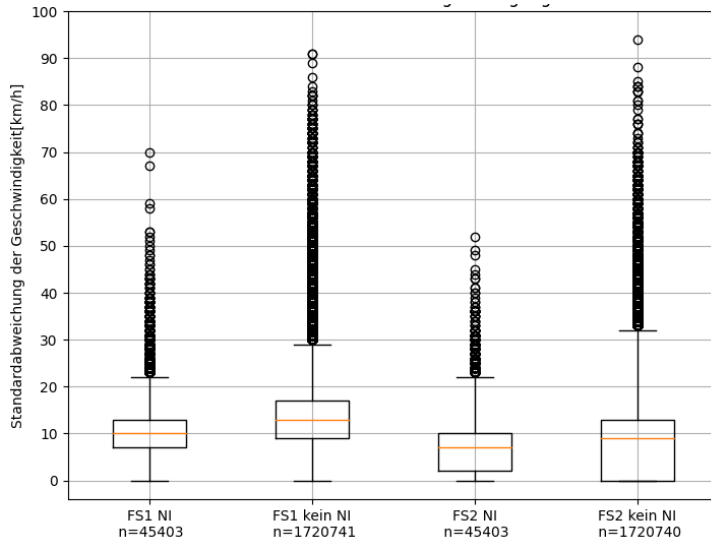


Abbildung 0-5: Ergebnisse der statistischen Auswertung für die These 1-8 für die MQ-Gruppe 3

MQ-Gruppe 4

Tabelle 0-7: Ergebnisse der statistischen Auswertung für den rechten Fahrstreifen für These 1-2a für MQ-Gruppe 4

Rechter Fahrstreifen												
Zwei-Stichproben F-Test	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]		2000 - 2500 [Kfz/h]		2500 - 3000 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95											
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	9,895	8,483	11,954	10,103	12,058	9,812	10,807	8,392	10,296	7,914	9,464	7,083
Varianz	37,084	25,051	27,731	18,684	18,726	14,943	12,923	10,286	9,856	7,598	8,876	6,188
Beobachtungen	666915	17815	672804	14448	414158	9654	136270	3698	33270	653	4134	36
Freiheitsgrade (df)	666914	17814	672803	14448	414157	9653	136269	3697	33269	652	4133	35
Shapiro p-Wert	0	0	0	1,68E-44	0	1,10E-35	0	1,27E-24	1,23E-43	2,60E-10	2,62E-20	1,69E-03
Levene p-Wert	1,59E-167		5,33E-161		2,12E-27		4,92E-09		2,27E-04		1,29E-01	
Prüfgröße (F)	1,48		1,484		1,253		1,256		1,297		1,434	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16		4,39E-06		0,091	
Kritischer F-Wert	1,018		1,020		1,024		1,040		1,099		1,549	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein		nein		nein		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen	

Tabelle 0-8: Ergebnisse der statistischen Auswertung für den mittleren Fahrstreifen für These 1-2a für MQ-Gruppe 4

Mittlerer Fahrstreifen											
Zwei-Stichproben F-Test	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]		2000 - 2500 [Kfz/h]		
	Signifikanzniveau 0,95										
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	
Mittelwert s(v)	9,902	8,526	11,032	9,368	10,424	9,074	10,155	8,570	9,363	7,643	
Varianz	46,018	28,685	25,998	16,468	15,810	11,316	12,472	10,396	10,087	6,087	
Beobachtungen	616028	15087	605050	16244	433964	9862	55654	862	2148	14	
Freiheitsgrade (df)	616027	15086	605049	16243	433963	9861	55653	861	2147	13	
Shapiro p-Wert	0	0	0	0	0	0	0	1,53E-20	8,96E-25	0,239	
Levene p-Wert	1,91E-136		7,39E-245		3,49E-111		1,54E-05		0,318		
Prüfgröße (F)	1,604		1,579		1,397		1,200		1,657		
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16		1,41E-04		0,147		
Kritischer F-Wert	1,019		1,019		1,024		1,085		2,133		
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein		nein		ja		
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen		

Tabelle 0-9: Ergebnisse der statistischen Auswertung für den linken Fahrstreifen für These 1-2a für MQ-Gruppe 4

Linker Fahrstreifen											
Zwei-Stichproben F-Test	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]		2000 - 2500 [Kfz/h]		
	Signifikanzniveau										0,95
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	
Mittelwert $s(v)$	10,720	8,961	12,034	9,549	11,892	9,292	11,602	8,789	11,089	8,910	
Varianz	47,722	30,499	22,195	15,478	19,025	14,245	19,011	12,356	16,032	12,803	
Beobachtungen	653461	17012	508007	14103	174911	3802	32175	569	8315	111	
Freiheitsgrade (df)	653460	17011	508006	14102	174910	3801	32174	568	8314	110	
Shapiro p-Wert	0	0	0	0	0	2,16E-39	0	5,52E-16	7,78E-42	1,01E-07	
Levene p-Wert	1,77E-227		1,18E-164		1,34E-35		1,77E-10		0,035		
Prüfgröße (F)	1,565		1,434		1,336		1,539		1,252		
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16		9,46E-12		0,060		
Kritischer F-Wert	1,018		1,020		1,039		1,106		1,268		
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein		nein		ja		
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen		

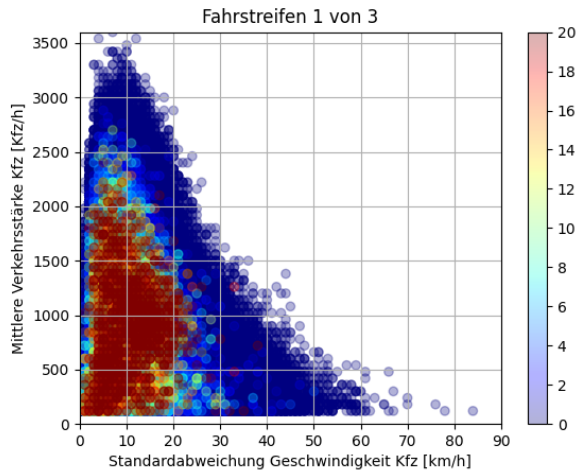


Abbildung 0-6: Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Niederschlagsintensitäten für den rechten Fahrstreifen für die These 1-2a und die MQ-Gruppe 4

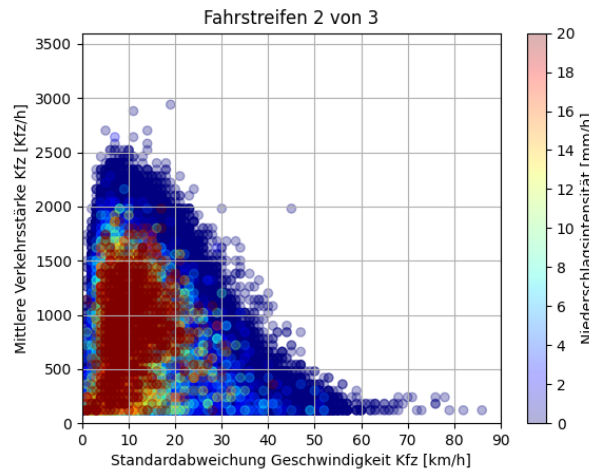


Abbildung 0-7: Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Niederschlagsintensitäten für den mittleren Fahrstreifen für die These 1-2a und die MQ-Gruppe 4

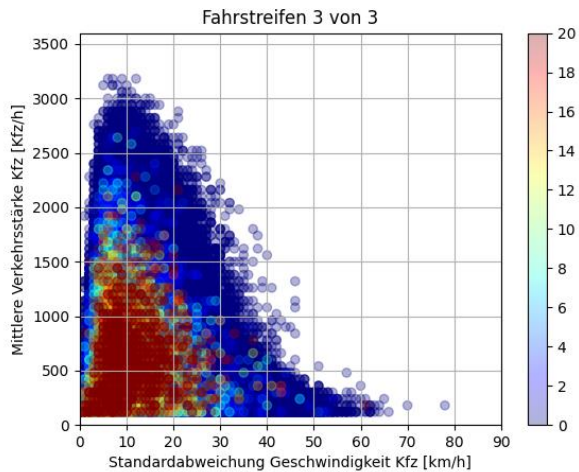


Abbildung 0-8: Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Niederschlagsintensitäten für den linken Fahrstreifen für die These 1-2a und die MQ-Gruppe 4

Tabelle 0-10: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 1-8 für MQ-Gruppe 4

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen		mittlerer Fahrstreifen		linker Fahrstreifen	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	11,1487247	9,24932513	10,4410171	8,98022344	11,3757003	9,22662547
Varianz	28,6102493	20,1238428	30,3896628	19,6518551	34,1780556	22,5412262
Beobachtungen	1927696	46305	1712861	42070	1378024	35605
Freiheitsgrade (df)	1927695	46304	1712860	42069	1378023	35604
Shapiro p-Wert	0	0	0	0	0	0
Levene p-Wert	0,000		0,000		0,000	
Prüfgröße (F)	1,422		1,546		1,516	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16	
Kritischer F-Wert	1,011		1,012		1,013	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

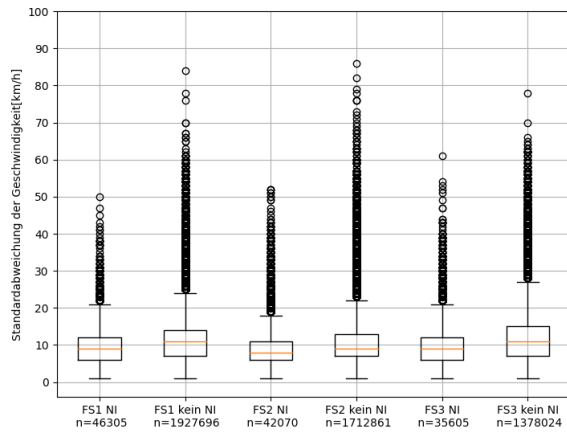


Abbildung 0-9: Ergebnisse der statistischen Auswertung für die These 1-8 für die MQ-Gruppe 7

MQ-Gruppe 7

Tabelle 0-11: Ergebnisse der statistischen Auswertung für den rechten Fahrstreifen für These 1-2a für MQ-Gruppe 7

Rechter Fahrstreifen								
Zwei-Stichproben F-Test	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95							
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert $s(v)$	11,585	9,805	13,814	11,552	10,943	8,678	6,810	6,149
Varianz	49,858	35,696	29,069	23,806	26,300	19,235	14,640	8,239
Beobachtungen	204930	3026	319923	5181	175406	3361	14528	302
Freiheitsgrade (df)	204929	3025	319922	5180	175405	3360	14527	301
Shapiro p-Wert	0	8,56E-31	0	2,22E-26	0	1,57E-33	0	1,45E-11
Levene p-Wert	2,234E-24		7,222E-08		1,494E-42		1,267E-07	
Prüfgröße (F)	1,397		1,221		1,367		1,777	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,110E-16		1,110E-16		9,833E-11	
Kritischer F-Wert	1,044		1,033		1,042		1,151	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-12: Ergebnisse der statistischen Auswertung für den mittleren Fahrstreifen für These 1-2a für MQ-Gruppe 7

Mittlerer Fahrstreifen								
Zwei-Stichproben F-Test	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95							
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert $s(v)$	12,895	10,333	15,335	12,914	13,478	11,202	11,452	8,743
Varianz	64,103	37,209	27,316	21,622	15,478	14,763	13,664	11,177
Beobachtungen	182371	2818	200777	3731	195039	3467	34532	491
Freiheitsgrade (df)	182370	2817	200776	3730	195038	3466	34531	490
Shapiro p-Wert	0	6,936E-35	0	1,651E-31	0	5,774E-27	0	5,622E-13
Levene p-Wert	1,295E-58		1,682E-15		1,995E-01		1,460E-03	
Prüfgröße (F)	1,723		1,263		1,048		1,223	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,110E-16		2,792E-02		1,312E-03	
Kritischer F-Wert	1,046		1,040		1,041		1,115	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-13: Ergebnisse der statistischen Auswertung für den linken Fahrstreifen für These 1-2a für MQ-Gruppe 7

Linker Fahrstreifen										
Zwei-Stichproben F-Test	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]		2000 - 2500 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95									
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	15,532	12,508	15,885	13,103	14,291	11,592	13,355	10,299	12,119	8,95081967
Varianz	68,288	48,954	27,468	26,149	19,368	17,035	18,287	14,002	16,380	11,1287288
Beobachtungen	172874	3234	140884	2703	103360	1648	41031	625	14283	122
Freiheitsgrade (df)	172873	3233	140883	2702	103359	1647	41030	624	14282	121
Shapiro p-Wert	0	4,107E-30	0	1,428E-28	0	1,380E-22	0	3,669E-14	0	3,130E-08
Levene p-Wert	1,517E-32		7,824E-03		6,689E-04		9,878E-05		4,523E-04	
Prüfgröße (F)	1,395		1,05		1,137		1,306		1,472	
p-Wert F-Test	1,110E-16		3,974E-02		1,787E-04		3,960E-06		2,783E-03	
Kritischer F-Wert	1,043		1,047		1,060		1,101		1,252	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

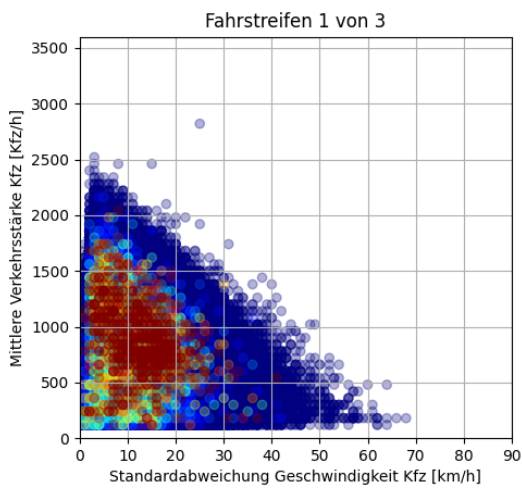


Abbildung 0-10: Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Niederschlagsintensitäten für den rechten Fahrstreifen für die These 1-2a und die MQ-Gruppe 7

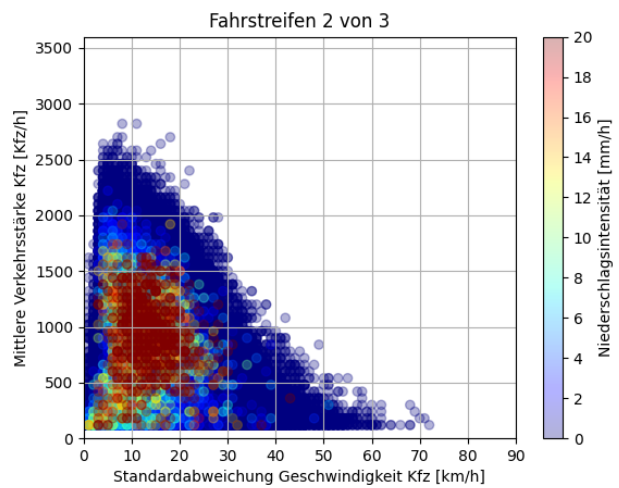


Abbildung 0-11: Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Niederschlagsintensitäten für den mittleren Fahrstreifen für die These 1-2a und die MQ-Gruppe 7

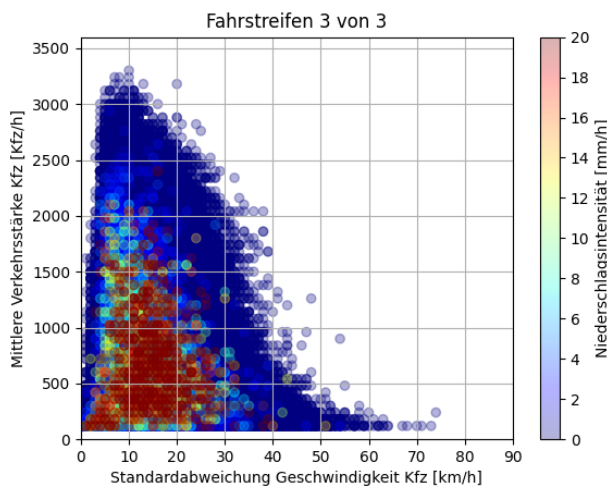


Abbildung 0-12: Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Niederschlagsintensitäten für den linken Fahrstreifen für die These 1-2a und die MQ-Gruppe 7

Tabelle 0-14: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 1-8 für MQ-Gruppe 7

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen		mittlerer Fahrstreifen		linker Fahrstreifen	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	11,738	9,650	12,422	10,514	13,494	11,119
Varianz	41,466	30,575	48,498	32,422	57,167	42,815
Beobachtungen	750893	12495	682242	11460	529763	9227
Freiheitsgrade (df)	750892	12494	682241	11459	529762	9226
Shapiro p-Wert	0	3,888E-41	0	5,787E-43	0	1,992E-41
Levene p-Wert	2,271E-75		6,103E-108		6,634E-52	
Prüfgröße (F)	1,356		1,496		1,335	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16	
Kritischer F-Wert	1,021		1,022		1,025	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

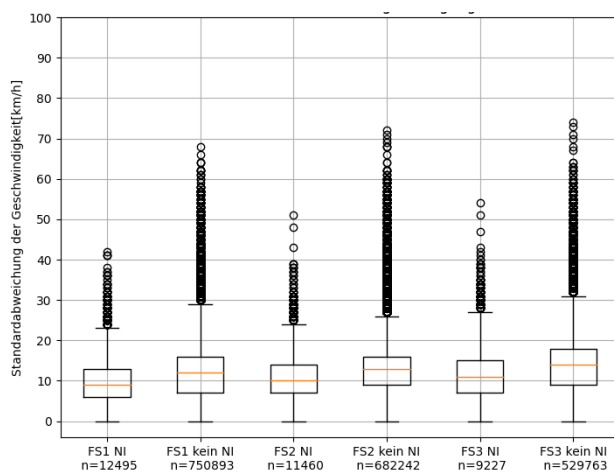


Abbildung 0-13: Ergebnisse der statistischen Auswertung für die These 1-8 für die MQ-Gruppe 7

MQ-Gruppe 8

Tabelle 0-15: Ergebnisse der statistischen Auswertung für den rechten Fahrstreifen für These 1-2a für MQ-Gruppe 8

Zwei-Stichproben F-Test	Rechter Fahrstreifen							
	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95							
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	13,025	11,218	13,565	11,189	10,807	8,371	5,095	3,750
Varianz	50,781	41,141	31,241	26,953	33,823	23,252	17,451	5,288
Beobachtungen	220919	5657	359835	7459	70852	1264	797	20
Freiheitsgrade (df)	220918	5656	359834	7458	70851	1263	796	19
Shapiro p-Wert	0	5,580E-32	0	7,824E-30	0	1,040E-19	7,869E-32	3,543E-03
Levene p-Wert	4,78E-16		1,881E-03		1,75E-23		1,864E-01	
Prüfgröße (F)	1,234		1,159		1,455		3,3	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16		1,635E-03	
Kritischer F-Wert	1,032		1,028		1,070		1,851	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-16: Ergebnisse der statistischen Auswertung für den mittleren Fahrstreifen für These 1-2a für MQ-Gruppe 8

Mittlerer Fahrstreifen						
Zwei-Stichproben F-Test	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(ν)	12,270	10,822	12,046	11,178	10,862	10,643
Varianz	54,613	37,878	19,028	13,312	11,077	8,872
Beobachtungen	275619	6788	222809	4462	56774	610
Freiheitsgrade (df)	275618	6787	222808	4461	56773	609
Shapiro p-Wert	0	5,591E-43	0	6,880E-32	0	2,238E-08
Levene p-Wert	2,623E-51		2,521E-45		1,054E-02	
Prüfgröße (F)	1,442		1,429		1,248	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,110E-16		1,113E-04	
Kritischer F-Wert	1,029		1,036		1,102	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-17: Ergebnisse der statistischen Auswertung für den linken Fahrstreifen für These 1-2a für MQ-Gruppe 8

Linker Fahrstreifen						
Zwei-Stichproben F-Test	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(ν)	10,193	8,302	10,770	9,432	10,309	9,063
Varianz	41,244	24,957	15,486	11,539	10,788	15,559
Beobachtungen	246492	4931	34061	481	1831	16
Freiheitsgrade (df)	246491	4930	34060	480	1830	15
Shapiro p-Wert	0	3,279E-43	0	1,601E-10	3,600E-26	1,210E-02
Levene p-Wert	3,855E-56		9,370E-04		4,020E-01	
Prüfgröße (F)	1,653		1,342		1,442	
p-Wert F-Test	1,110E-16		8,634E-06		1,193E-01	
Kritischer F-Wert	1,034		1,116		1,649	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen	

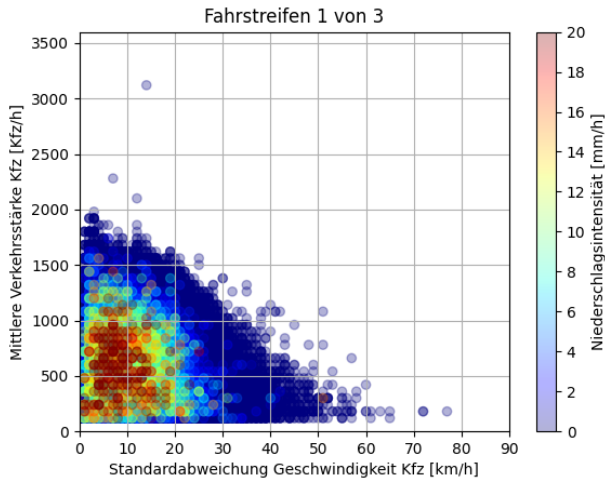


Abbildung 0-14: Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Niederschlagsintensitäten für den rechten Fahrstreifen für die These 1-2a und die MQ-Gruppe 8

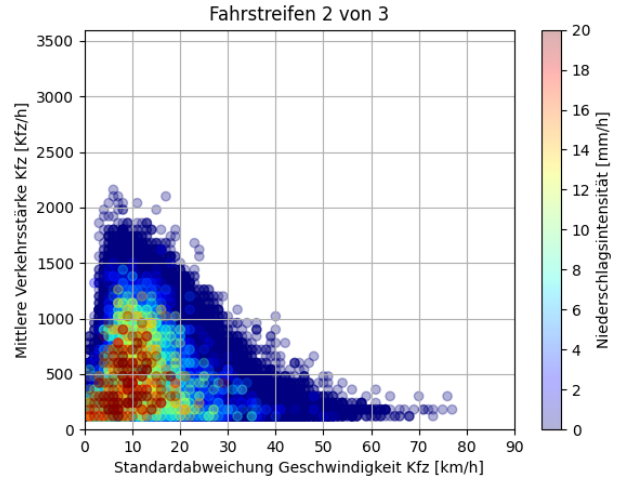


Abbildung 0-15: Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Niederschlagsintensitäten für den mittleren Fahrstreifen für die These 1-2a und die MQ-Gruppe 8

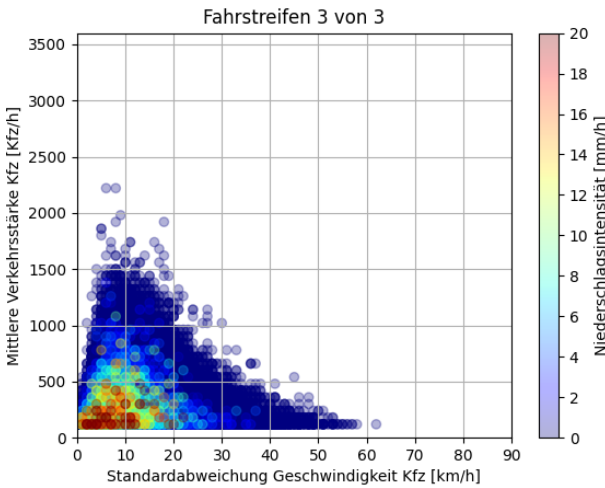


Abbildung 0-16: Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Niederschlagsintensitäten für den linken Fahrstreifen für die These 1-2a und die MQ-Gruppe 8

Tabelle 0-18: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 1-8 für MQ-Gruppe 8

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen		mittlerer Fahrstreifen		linker Fahrstreifen	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	12,362	10,253	9,698	8,449	4,201	2,968
Varianz	45,553	37,886	51,673	42,085	41,012	24,556
Beobachtungen	689858	15369	689858	15369	689858	15369
Freiheitsgrade (df)	689857	15368	689857	15368	689857	15368
Shapiro p-Wert	0	1,40E-45	0	0	0	0
Levene p-Wert	7,832E-23		8,296E-28		2,694E-124	
Prüfgröße (F)	1,202		1,228		1,670	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16	
Kritischer F-Wert	1,019		1,019		1,019	
F _{Pr} < F _{Kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

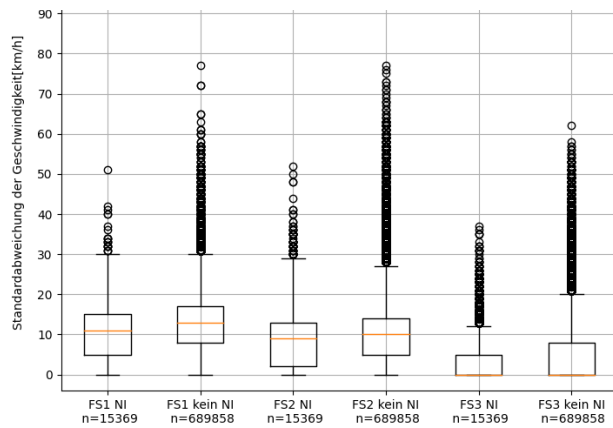


Abbildung 0-17: Ergebnisse der statistischen Auswertung für die These 1-8 für die MQ-Gruppe 8

A6.2: These 1-3 und 1-4

MQ-Gruppe 2

Tabelle 0-19: Ergebnisse der statistischen Auswertung des Fundamentaldiagramms für These 1-3a (Nässe) und T1-4 (Helligkeit HK) für MQ-Gruppe 2

Zwei-Stichproben F-Test	Nässe - Verkehrsstärke		Nässe - Geschwindigkeit		HK - Verkehrsstärke		HK - Geschwindigkeit	
	Signifikanzniveau 0,95							
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert	2461,3	2625,3	90,7	66,2	11,0	6,4	11,0	6,4
Varianz	758007,005	274402,278	183,310	36,619	23,33	9,543	23,33	9,543
Beobachtungen	44176	53	44176	53	2296	683	2296	683
Freiheitsgrade (df)	44175	52	44175	52	2295	682	2295	682
Shapiro p-Wert	0,000E+00	5,171E-04	0,000E+00	3,746E-03	7,90E-13	2,65E-12	7,90E-13	2,65E-12
Levene p-Wert	3,544E-10		0,212		3,369E-40		3,37E-40	
Prüfgröße (F)	2,762		5,006		2,445		2,445	
p-Wert F-Test	6,433E-06		6,876E-11		1,100E-17		1,100E-17	
Kritischer F-Wert	1,422		1,422		1,109		1,109	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

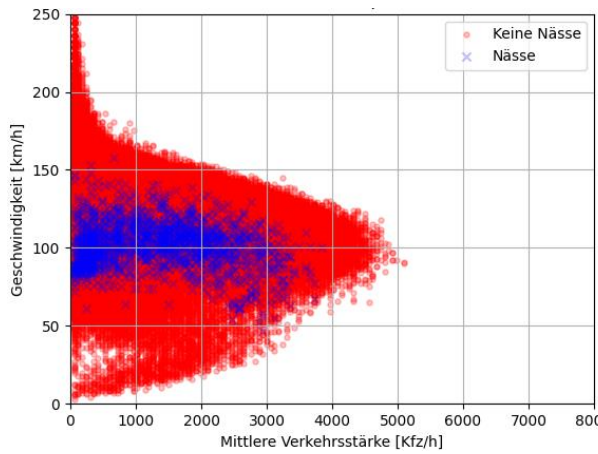


Abbildung 0-18: Fundamentaldiagramm der Messquerschnitte aus Gruppe 2 für die These 1-3a getrennt nach „nass“ und „trocken“

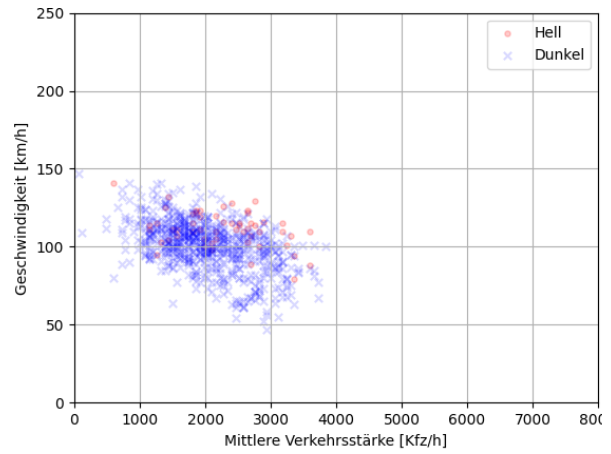


Abbildung 0-19: Fundamentaldiagramm der Messquerschnitte aus Gruppe 2 für die These 1-4 getrennt nach „Regen im Hellen“ und „Regen im Dunkeln“

MQ-Gruppe 3

Tabelle 0-20: Ergebnisse der statistischen Auswertung des Fundamentaldiagramms für These 1-3a (Nässe) für MQ-Gruppe 3

Zwei-Stichproben F-Test	Nässe - Verkehrsstärke		Nässe - Geschwindigkeit	
	Signifikanzniveau		0,95	
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert	2802,0	2502,5	62,5	50,4
Varianz	983176,258	662871,890	714,696	448,085
Beobachtungen	51226	1429	51226	1429
Freiheitsgrade (df)	51225	1428	51225	1428
Shapiro p-Wert	0,000E+00	8,428E-19	0,000E+00	3,890E-28
Levene p-Wert	4,416E-22		7,195E-19	
Prüfgröße (F)	1,483		1,595	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,110E-16	
Kritischer F-Wert	1,066E+00		1,066E+00	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

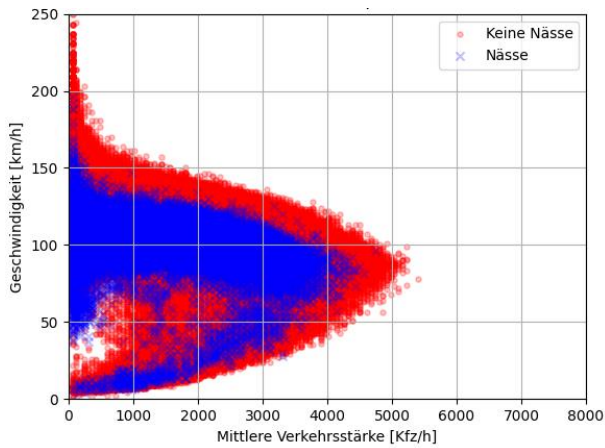


Abbildung 0-20: Fundamentaldiagramm der Messquerschnitte aus MQ-Gruppe 3 für die These 1-3a getrennt nach „nass“ und „trocken“

MQ-Gruppe 4

Tabelle 0-21: Ergebnisse der statistischen Auswertung des Fundamentaldiagramms für These 1-3a (Nässe) für MQ-Gruppe 4

Zwei-Stichproben F-Test	Nässe - Verkehrsstärke		Nässe - Geschwindigkeit		HK - Verkehrsstärke		HK - Geschwindigkeit	
	Signifikanzniveau							
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert	2472,3	2319,9	79,1	56,7	2220,9	2405,1	67,0	51,8
Varianz	863803,933	794253,887	288,507	423,901	741653,321	718408,015	416,526	470,435
Beobachtungen	66589	1681	66589	1681	133	754	133	754
Freiheitsgrade (df)	66588	1680	66588	1680	132	753	132	753
Shapiro p-Wert	0	7,155E-22	0	2,864E-34	2,2675E-05	5,4526E-11	3,3788E-14	5,027E-23
Levene p-Wert	2,969E-01		7,484E-94		9,446E-01		5,789E-03	
Prüfgröße (F)	1,088		1,469		1,032		1,129	
p-Wert F-Test	8,867E-03		1,110E-16		3,944E-01		1,937E-01	
Kritischer F-Wert	1,060		1,058		1,233		1,258	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		ja		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen		H₀ annehmen	

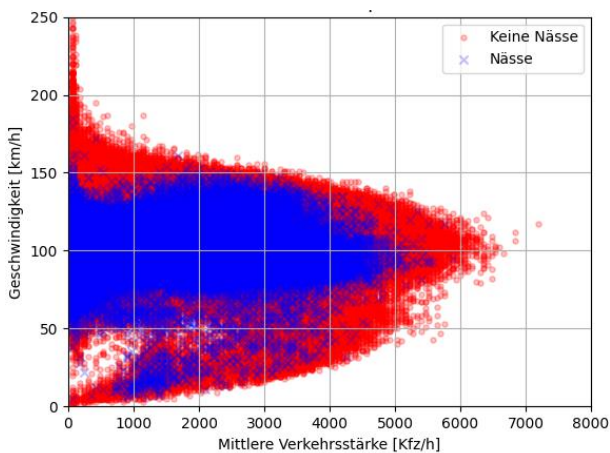


Abbildung 0-21: Fundamentaldiagramm der Messquerschnitte aus MQ-Gruppe 4 für die These 1-3 getrennt nach „nass“ und „trocken“

MQ-Gruppe 7

Tabelle 0-22: Ergebnisse der statistischen Auswertung des Fundamentaldiagramms für These 1-3a (Nässe) für MQ-Gruppe 7

Zwei-Stichproben F-Test	Nässe - Verkehrsstärke		Nässe - Geschwindigkeit	
	Signifikanzniveau 0,95			
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert	2912,5	3148,0	97,3	83,7
Varianz	2462206,368	1592392,522	376,210	106,564
Beobachtungen	23216	413	23216	413
Freiheitsgrade (df)	23215	412	23215	412
Shapiro p-Wert	0,000E+00	1,118E-10	0,000E+00	3,935E-23
Levene p-Wert	7,426E-22		0,0177	
Prüfgröße (F)	1,546		3,530	
p-Wert F-Test	4,012E-09		1,110E-16	
Kritischer F-Wert	1,127		1,127	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

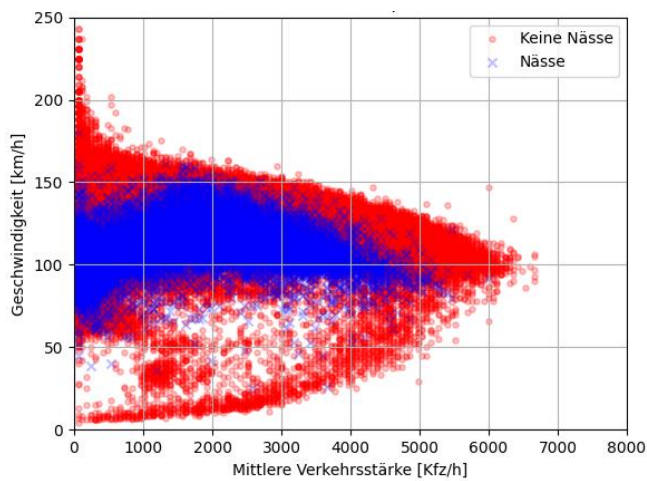


Abbildung 0-22: Fundamentaldiagramm der Messquerschnitte aus MQ-Gruppe 7 für die These 1-3 getrennt nach „nass“ und „trocken“

MQ-Gruppe 8

Tabelle 0-23: Ergebnisse der statistischen Auswertung des Fundamentaldiagramms für These 1-3a (Nässe) für MQ-Gruppe 8

Zwei-Stichproben F-Test	Nässe - Verkehrsstärke		Nässe - Geschwindigkeit	
	Signifikanzniveau 0,95			
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert	1256,2	1315,7	103,1	90,4
Varianz	68329,055	109116,672	28,541	94,586
Beobachtungen	15623	295	15623	295
Freiheitsgrade (df)	15622	294	15622	294
Shapiro p-Wert	0	9,292E-20	0	2,517E-21
Levene p-Wert	3,698E-05		3,505E-24	
Prüfgröße (F)	1,597		3,314	
p-Wert F-Test	5,228E-10		1,110E-16	
Kritischer F-Wert	1,141		1,141	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

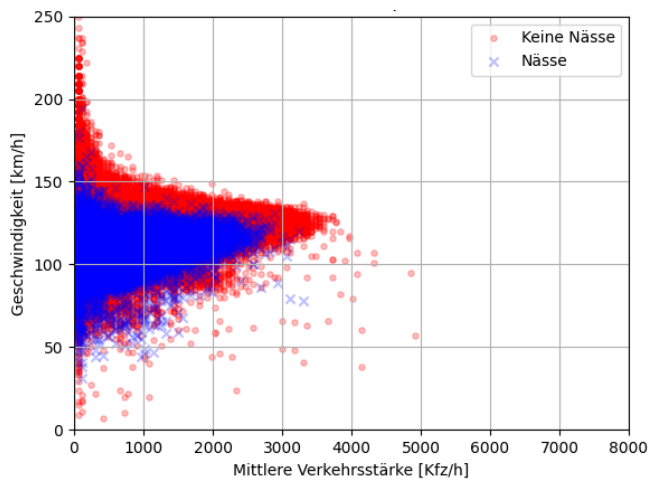


Abbildung 0-23: Fundamentaldiagramm der Messquerschnitte aus MQ-Gruppe 8 für die These 1-3 getrennt nach „nass“ und „trocken“

A6.3: These 1-3b (Nebel)

MQ-Gruppe 2

Tabelle 0-24: Ergebnisse der statistischen Auswertung des Fundamentaldiagramms für These 1-3b (Nebel) für MQ-Gruppe 2

Zwei-Stichproben F-Test	Nebel - Verkehrsstärke		Nebel - Geschwindigkeit	
	Signifikanzniveau		0,95	
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert	3652,4	4122,0	87,4	90,5
Varianz	2179642,605	1495822,67	663,437	292,865
Beobachtungen	8632	270	8632	270
Freiheitsgrade (df)	8631	269	8631	269
Shapiro p-Wert	0,00E+00	2,10E-15	0,00E+00	3,22E-18
Levene p-Wert	3,45E-11		3,60E-02	
Prüfgröße (F)	1,457		2,265	
p-Wert F-Test	2,79E-05		1,11E-16	
Kritischer F-Wert	1,161		1,161	
F _{Pr} < F _{Kr}	nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

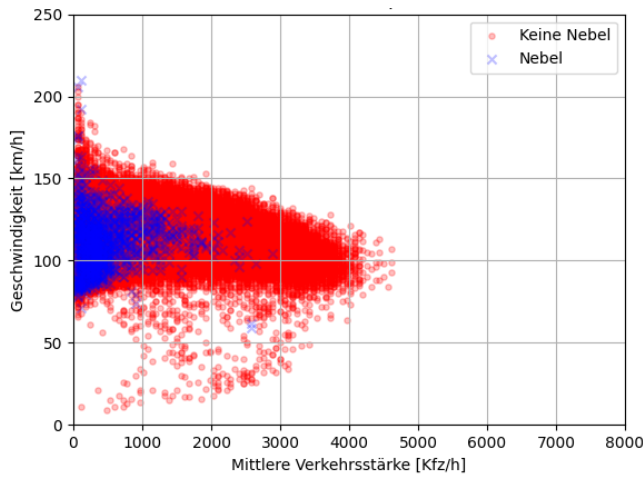


Abbildung 0-24: Fundamentaldiagramm der Messquerschnitte aus MQ-Gruppe 2 für die These 1-3 Nebel getrennt nach „kein Nebel“ und „Nebel“

MQ-Gruppe 4

Tabelle 0-25: Ergebnisse der statistischen Auswertung des Fundamentaldiagramms für These 1-3b (Nebel) für MQ-Gruppe 4

Zwei-Stichproben F-Test	Nebel - Verkehrsstärke		Nebel - Geschwindigkeit	
	Signifikanzniveau 0,95			
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert	2375,1	2454,4	77,9	83,9
Varianz	771632,7	819952,57	279,083	188,641
Beobachtungen	52380	344	52380	344
Freiheitsgrade (df)	52379	343	52379	343
Shapiro p-Wert	0	1,461E-08	0	1,264E-26
Levene p-Wert	3,620E-03		1,581E-01	
Prüfgröße (F)	1,063		1,479	
p-Wert F-Test	2,031E-01		9,054E-07	
Kritischer F-Wert	1,129		1,139	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

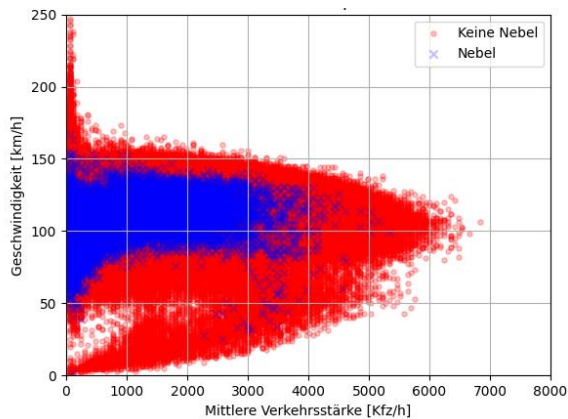


Abbildung 0-25: Fundamentaldiagramm der Messquerschnitte aus MQ-Gruppe 4 für die These 1-3 Nebel getrennt nach „kein Nebel“ und „Nebel“

MQ-Gruppe 7

Tabelle 0-26: Ergebnisse der statistischen Auswertung des Fundamentaldiagramms für These 1-3b (Nebel) für MQ-Gruppe 7

Zwei-Stichproben F-Test	Nässe - Verkehrsstärke		Nässe - Geschwindigkeit	
	Signifikanzniveau 0,95			
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert	3652,4	4122,0	87,4	90,5
Varianz	2179642,605	1495822,667	663,437	292,865
Beobachtungen	8632	270	8632	270
Freiheitsgrade (df)	8631	269	8631	269
Shapiro p-Wert	0	2,09519E-15	0	3,2249E-18
Levene p-Wert	3,45318E-11		0,035523658	
Prüfgröße (F)	1,457		2,265	
p-Wert F-Test	2,79042E-05		1,11022E-16	
Kritischer F-Wert	1,161		1,161	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

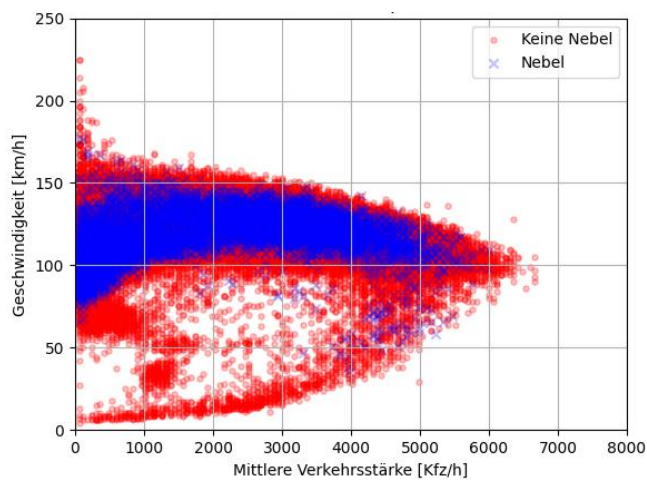


Abbildung 0-26: Fundamentaldiagramm der Messquerschnitte aus MQ-Gruppe 2 für die These 1-3 Nebel getrennt nach „kein Nebel“ und „Nebel“

A6.4: These 3-6

MQ-Gruppe 2

Tabelle 0-27: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 3-6 für MQ-Gruppe 2

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen	linker Fahrstreifen
	Signifikanzniveau 0,95	
Mittelwert SW	285,979	296,351
MittelwertB(v)	13,585	12,738
Achsenabschnitt α	13,807	11,836
Steigung β	-0,001	0,003
Standardabweichung SW	70,426	71,904
Standardabweichung s(v)	7,119	7,896
Beobachtungen	1223	584
Pearson-R-Wert	-7,68E-03	2,77E-02
p-Wert lin. Regression	0,788	0,504
p-Wert > 0,05 (1 - Sig.niv.)	ja	ja
Ergebnis	H₀ annehmen	H₀ annehmen

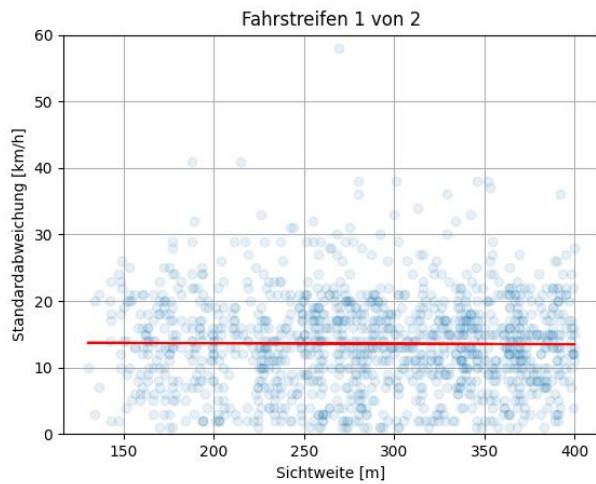


Abbildung 0-27: Verteilung der Standardabweichungen der Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten für den rechten Fahrstreifen der Gruppe 2 für die These 3-6

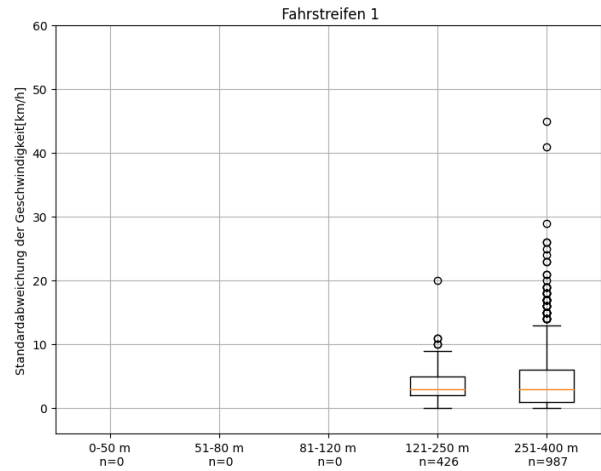


Abbildung 0-28: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche SW-Bereiche nach MARZ 2A618 für den rechten Fahrstreifen der Gruppe 2 für die These 3-6

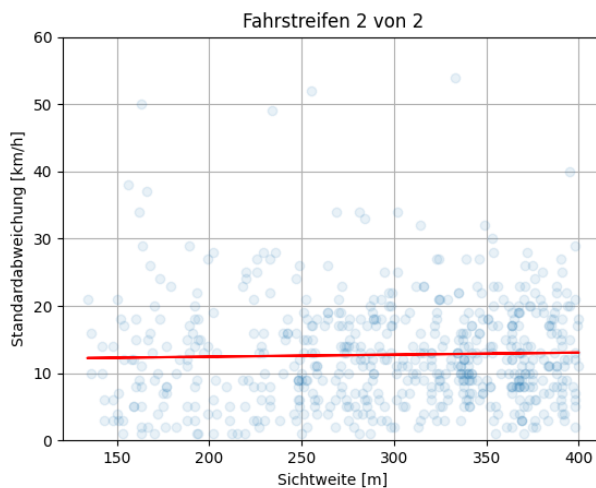


Abbildung 0-29: Verteilung der Standardabweichungen der Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten für den linken Fahrstreifen der Gruppe 2 für die These 3-6

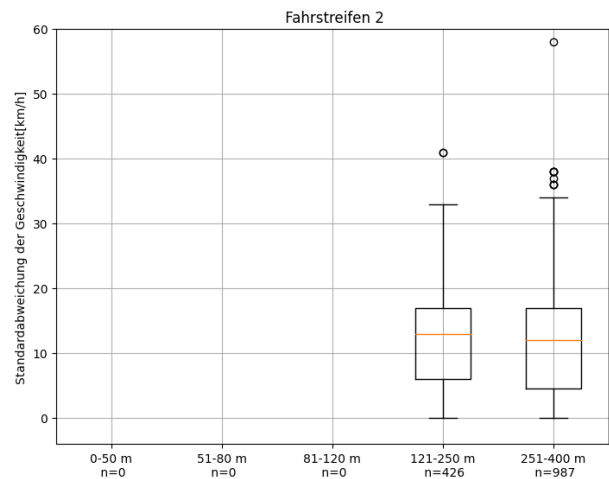


Abbildung 0-30: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche SW-Bereiche nach MARZ 2018 für den linken Fahrstreifen der Gruppe 2 für die These 3-6

MQ-Gruppe 4

Tabelle 0-28: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 3-6 für MQ-Gruppe 4

lineare Regressionsanalyse	rechter Fahrstreifen	mittlerer Fahrstreifen	linker Fahrstreifen
		Signifikanzniveau	
Mittelwert SW	199,796	195,856	240,995
Mittelwert $\beta(v)$	11,634	11,342	11,139
Achsenabschnitt α	12,994	11,941	10,283
Steigung β	-0,007	-0,003	0,004
Standardabweichung SW	102,225	104,064	99,411
Standardabweichung $s(v)$	5,559	5,423	6,059
Beobachtungen	12415	10421	3521
Pearson-R-Wert	-0,125	-0,059	0,058
p-Wert lin. Regression	1,53E-44	2,01E-09	5,43E-04
p-Wert > 0,05 (1 - Sig.niv.)	nein	nein	nein
Ergebnis	H₀ verwerfen	H₀ verwerfen	H₀ verwerfen

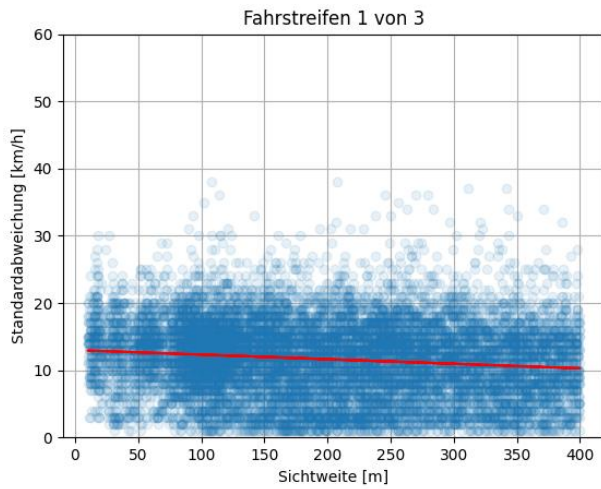


Abbildung 0-31: Verteilung der Standardabweichungen der Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten für den rechten Fahrstreifen der Gruppe 4 für die These 3-6

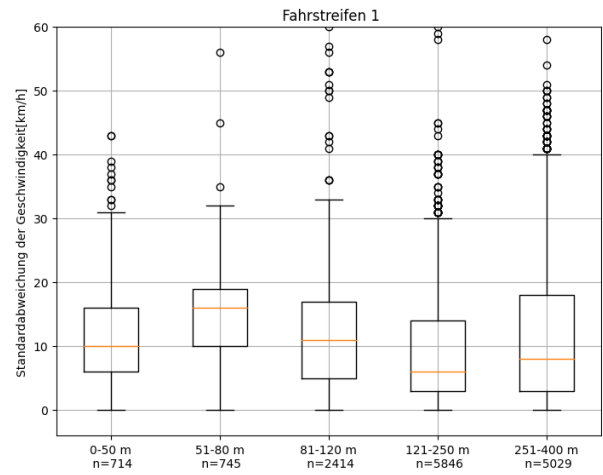


Abbildung 0-32: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche SW-Bereiche nach MARZ 2018 für den rechten Fahrstreifen der Gruppe 4 für die These 3-6

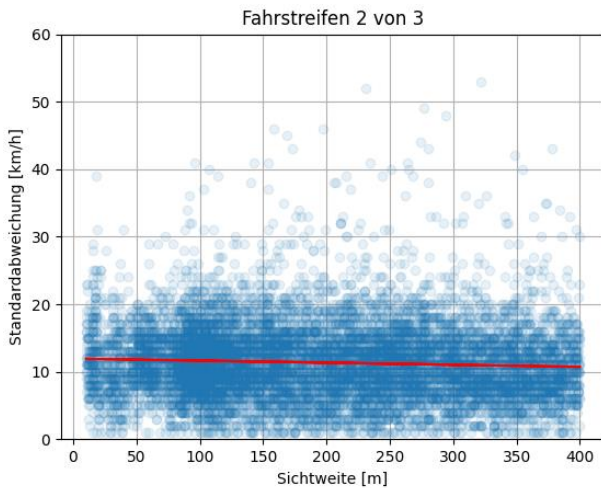


Abbildung 0-33: Verteilung der Standardabweichungen der Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten für den mittleren Fahrstreifen der Gruppe 4 für die These 3-6

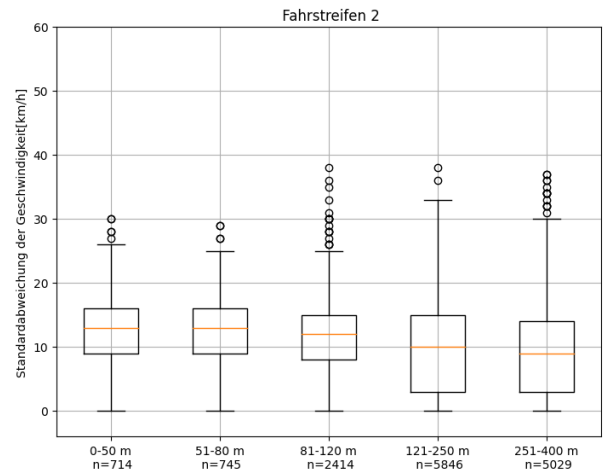


Abbildung 0-34: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche SW-Bereiche nach MARZ 2018 für den mittleren Fahrstreifen der Gruppe 4 für die These 3-6

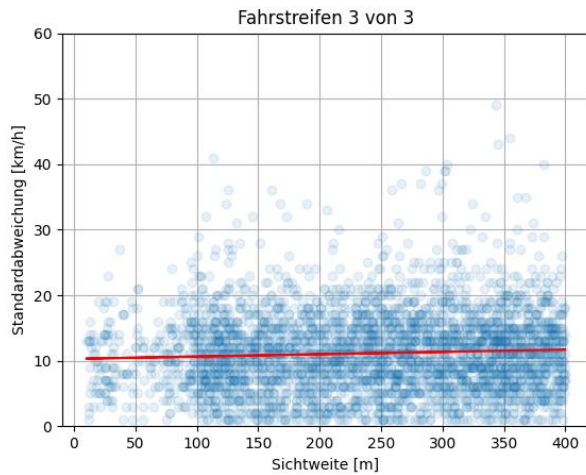


Abbildung 0-35: Verteilung der Standardabweichungen der Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten für den linken Fahrstreifen der Gruppe 4 für die These 3-6

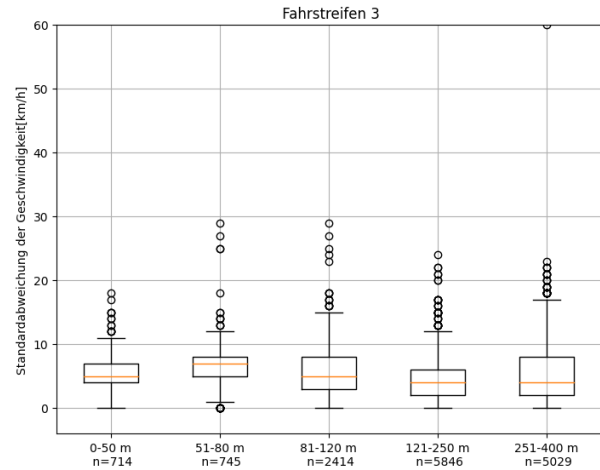


Abbildung 0-36: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche SW-Bereiche nach MARZ 2018 für den linken Fahrstreifen der Gruppe 4 für die These 3-6

MQ-Gruppe 7

Tabelle 0-29: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 3-6 für MQ-Gruppe 7

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen	mittlerer Fahrstreifen	linker Fahrstreifen
	Signifikanzniveau 0,95		
Mittelwert SW	182,915	180,366	178,812
Mittelwert $\sigma(v)$	11,540	11,940	13,634
Achsenabschnitt α	12,390	11,787	13,378
Steigung β	-0,005	0,001	0,001
Standardabweichung SW	98,866	99,469	99,774
Standardabweichung $s(v)$	5,116	5,149	5,510
Beobachtungen	8326	7159	5035
Pearson-R-Wert	-8,976E-02	1,630E-02	2,583E-02
p-Wert lin. Regression	2,29515E-16	0,168	0,067
p-Wert > 0,05 (1 - Sig.niv.)	nein	ja	ja
Ergebnis	H_0 verwerfen	H_0 annehmen	H_0 annehmen

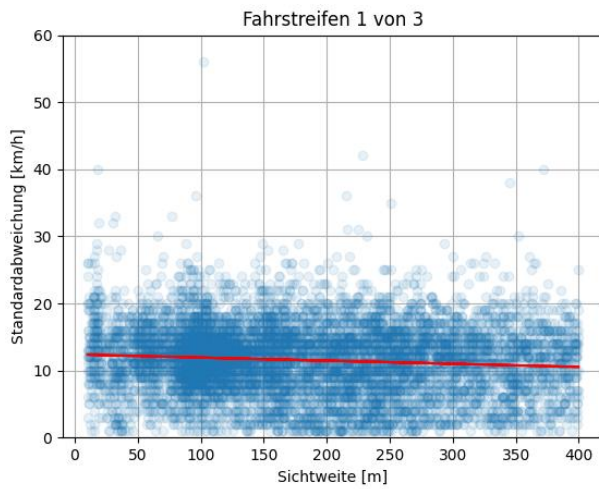


Abbildung 0-37: Verteilung der Standardabweichungen der Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten für den rechten Fahrstreifen der Gruppe 7 für die These 3-6

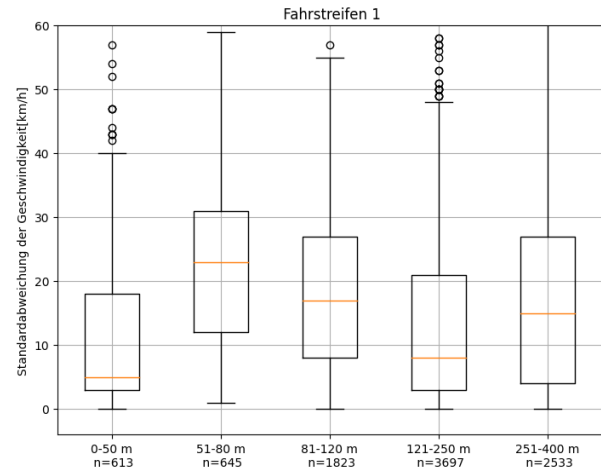


Abbildung 0-38: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche SW-Bereiche nach MARZ 2018 für den rechten Fahrstreifen der Gruppe 7 für die These 3-6

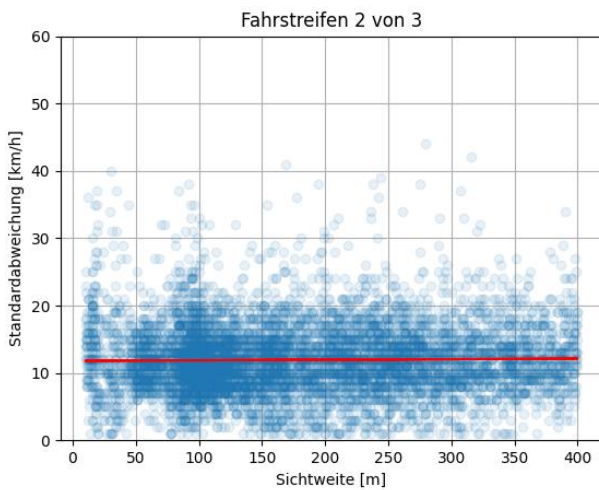


Abbildung 0-39: Verteilung der Standardabweichungen der Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten für den mittleren Fahrstreifen der Gruppe 7 für die These 3-6

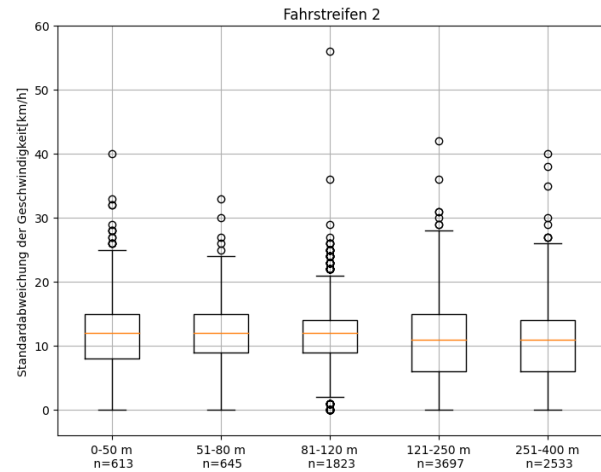


Abbildung 0-40: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche SW-Bereiche nach MARZ 2018 für den mittleren Fahrstreifen der Gruppe 7 für die These 3-6

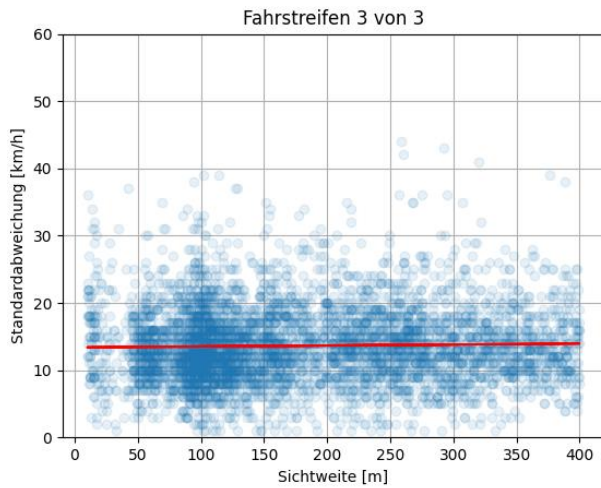


Abbildung 0-41: Verteilung der Standardabweichungen der Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten für den linken Fahrstreifen der Gruppe 7 für die These 3-6

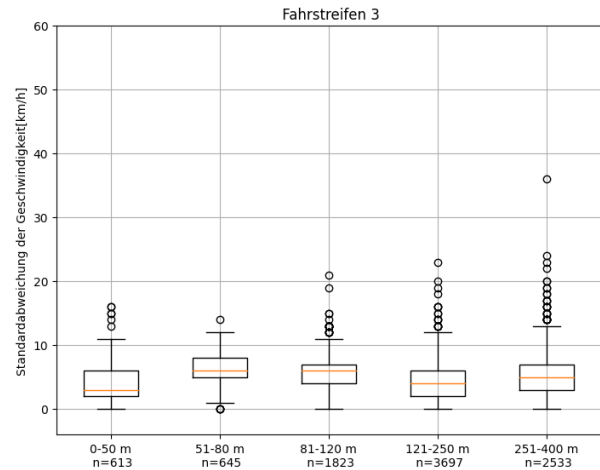


Abbildung 0-42: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche SW-Bereiche nach MARZ 2018 für den linken Fahrstreifen der Gruppe 7 für die These 3-6

A6.5: These 3-1a

MQ-Gruppe 2

Tabelle 0-30: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen für These 3-1a für MQ-Gruppe 2

Rechter Fahrstreifen						
Zwei-Stichproben F-Test	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(ν)	14,721	12,713	13,907	13,625	12,149	10,586
Varianz	76,355	71,682	29,097	29,030	18,593	17,760
Beobachtungen	17685	463	16799	88	18070	29
Freiheitsgrade (df)	17684	462	16798	87	18069	28
Shapiro p-Wert	0	4,404E-12	0	8,145E-11	0	1,607E-01
Levene p-Wert	8,178E-16		1,441E-01		2,648E-01	
Prüfgröße (F)	1,6		1,063		1,244	
p-Wert F-Test	1,110E-16		2,096E-01		1,070E-01	
Kritischer F-Wert	1,093		1,132		1,333	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		ja		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ annehmen		H₀ annehmen	

Tabelle 0-31: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen für These 3-1a für MQ-Gruppe 2

Linker Fahrstreifen						
Zwei-Stichproben F-Test	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(ν)	14,721	12,713	13,907	13,625	12,149	10,586
Varianz	76,355	71,682	29,097	29,030	18,593	17,760
Beobachtungen	17685	463	16799	88	18070	29
Freiheitsgrade (df)	17684	462	16798	87	18069	28
Shapiro p-Wert	0	3,452E-15	0	1,113E-02	0	3,012E-01
Levene p-Wert	2,505E-01		3,465E-01		9,983E-01	
Prüfgröße (F)	1,065		1,002		1,047	
p-Wert F-Test	1,803E-01		5,148E-01		4,677E-01	
Kritischer F-Wert	1,120		1,307		1,638	
$F_{pr} < F_{kr}$	ja		ja		ja	
Ergebnis	H₀ annehmen		H₀ annehmen		H₀ annehmen	

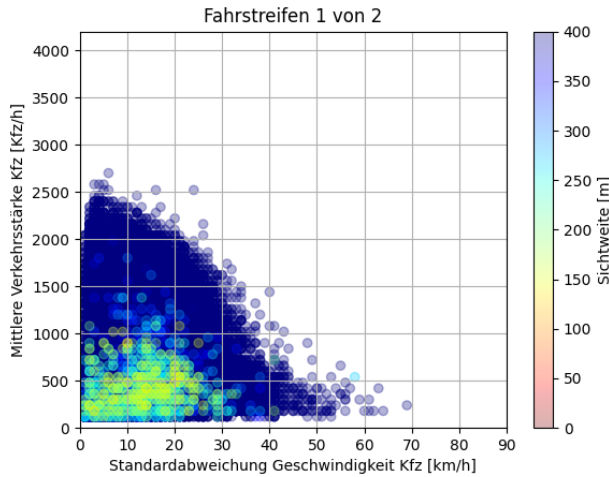


Abbildung 0-43: Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten für den rechten Fahrstreifen für MQ-Gruppe 2 der These 3-1a

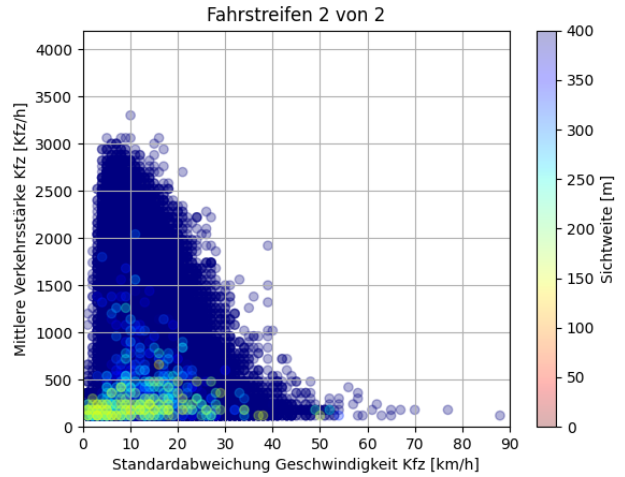


Abbildung 0-44: Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten für den linken Fahrstreifen für MQ-Gruppe 2 der These 3-1a

MQ-Gruppe 4

Tabelle 0-32: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen für These 3-1a für MQ-Gruppe 4

Zwei-Stichproben F-Test	Rechter Fahrstreifen											
	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]		2000 - 2500 [Kfz/h]		2500 - 3000 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95											
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	9,250	10,097	10,854	12,950	11,834	12,060	11,121	8,601	10,407	8,800	9,460	8,250
Varianz	30,251	38,338	20,752	26,647	14,142	21,515	10,374	15,158	9,093	11,074	8,793	3,688
Beobachtungen	561129	4405	469434	4688	274279	3023	120588	368	33078	35	4175	4
Freiheitsgrade (df)	561128	4404	469433	4687	274278	3022	120587	367	33077	34	4174	3
Shapiro p-Wert	0	1,21E-33	0	1,68E-44	0	1,10E-35	0	1,27E-24	2,02E-43	3,77E-01	2,62E-20	1,69E-03
Levene p-Wert	2,19E-49		3,85E-22		2,55E-74		3,41E-12		2,66E-01		4,97E-01	
Prüfgröße (F)	1,267		1,284		1,521		1,461		1,218		2,384	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16		1,96E-08		1,79E-01		0,261	
Kritischer F-Wert	1,035		1,034		1,043		1,124		1,423		5,629	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein		nein		ja		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen		H₀ annehmen	

Tabelle 0-33: Statistische Auswertung für den mittleren Fahrstreifen für These 3-1a für MQ-Gruppe 4

Zwei-Stichproben F-Test	Mittlerer Fahrstreifen									
	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]		2000 - 2500 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95									
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	9,037	9,809	9,691	12,598	9,628	12,351	9,929	11,196	9,367	9,737
Varianz	37,111	43,043	19,903	21,608	14,096	14,324	12,688	12,602	10,390	7,773
Beobachtungen	485335	4312	462377	2576	329345	2988	40048	634	1512	19
Freiheitsgrade (df)	485334	4311	462376	2575	329344	2987	40047	633	1511	18
Shapiro p-Wert	0	0	0	4,49E-25	0	2,12E-19	0	4,90E-07	5,42E-21	0,743
Levene p-Wert	1,29E-21		5,49E-22		1,14E-08		3,22E-01		0,494	
Prüfgröße (F)	1,160		1,086		1,016		1,007		1,337	
p-Wert F-Test	9,75E-13		1,34E-03		0,267		0,458		0,237	
Kritischer F-Wert	1,036		1,046		1,043		1,100		1,882	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		ja		ja		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen		H₀ annehmen		H₀ annehmen	

Tabelle 0-34: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen für These 3-1a für MQ-Gruppe 4

Linker Fahrstreifen										
Zwei-Stichproben F-Test	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]		2000 - 2500 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95									
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	9,297	10,103	11,212	12,413	11,409	12,502	11,433	10,014	11,097	9,125
Varianz	34,756	44,912	18,659	22,334	18,797	19,522	20,079	21,520	16,888	7,859
Beobachtungen	516065	2078	425198	1067	134110	404	20840	73	5735	8
Freiheitsgrade (df)	516064	2077	425197	1066	134109	403	20839	72	5734	7
Shapiro p-Wert	0	6,27E-31	0	9,47E-19	0	4,07E-05	5,30E-35	0,696	5,42E-21	0,743
Levene p-Wert	1,59E-15		1,10E-02		5,63E-01		4,56E-01		0,218	
Prüfgröße (F)	1,292		1,197		1,039		1,072		2,149	
p-Wert F-Test	1,11E-16		9,02E-06		2,85E-01		3,17E-01		0,140	
Kritischer F-Wert	1,052		1,072		1,119		1,288		2,928	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		ja		ja		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen		H₀ annehmen		H₀ annehmen	

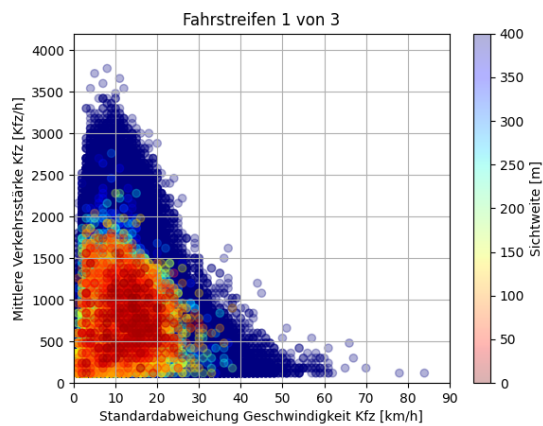


Abbildung 0-45: Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten für den rechten Fahrstreifen der MQ-Gruppe 4 der These 3-1a

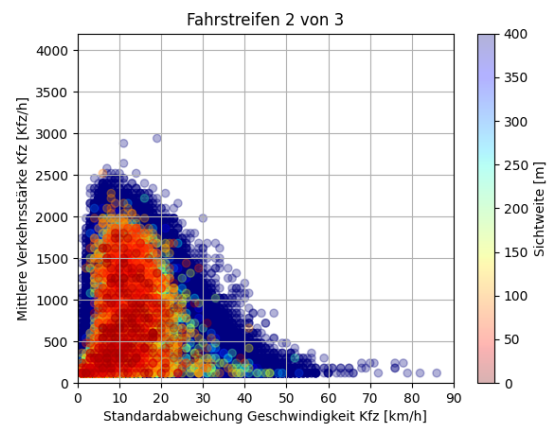


Abbildung 0-46: Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten für den mittleren Fahrstreifen der MQ-Gruppe 4 der These 3-1a

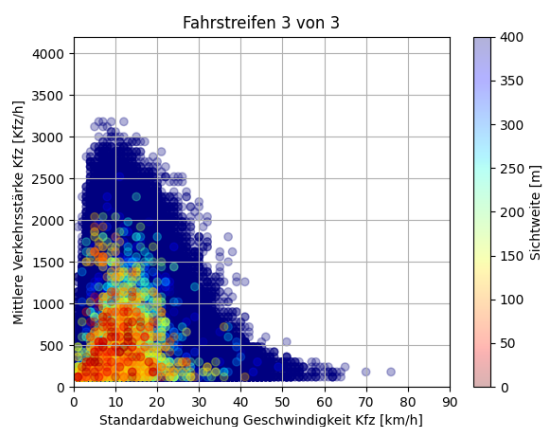


Abbildung 0-47: Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten für den linken Fahrstreifen der MQ-Gruppe 4 der These 3-1a

MQ-Gruppe 7

Tabelle 0-35: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen für These 3-1a für MQ-Gruppe 7

Rechter Fahrstreifen								
Zwei-Stichproben F-Test	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95							
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert $s(v)$	11,111	10,095	13,222	12,745	10,900	10,879	6,907	7,374
Varianz	39,016	35,114	23,884	19,495	23,184	19,040	14,024	11,083
Beobachtungen	64244	2801	111480	3793	68468	1995	7268	139
Freiheitsgrade (df)	64243	2800	111479	3792	68467	1994	7267	138
Shapiro p-Wert	0	1,774E-28	0	4,736E-16	0	3,725E-12	0	9,183E-07
Levene p-Wert	3,382E-03		7,919E-10		1,432E-08		2,014E-01	
Prüfgröße (F)	1,111		1,225		1,218		1,265	
p-Wert F-Test	7,661E-05		1,110E-16		1,400E-09		3,407E-02	
Kritischer F-Wert	1,046		1,040		1,055		1,235	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-36: Statistische Auswertung für den mittleren Fahrstreifen für These 3-1a für MQ-Gruppe 7

Mittlerer Fahrstreifen										
Zwei-Stichproben F-Test	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]		2000 - 2500 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95									
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert $s(v)$	11,371	10,943	14,150	13,225	12,959	12,174	11,177	10,203	8,707	8,176
Varianz	50,858	46,580	24,823	19,885	14,570	13,263	14,104	11,721	10,257	10,498
Beobachtungen	59529	2397	57658	1623	84217	2666	20660	807	1745	68
Freiheitsgrade (df)	59528	2396	57657	1622	84216	2665	20659	806	1744	67
Shapiro p-Wert	0	5,213E-32	0	6,494E-19	0	4,723E-22	0	4,311E-14	2,571E-25	4,941E-06
Levene p-Wert	4,419E-02		1,028E-06		3,087E-03		1,196E-04		7,158E-01	
Prüfgröße (F)	1,092		1,248		1,099		1,203		1,024	
p-Wert F-Test	1,654E-03		9,846E-10		4,273E-04		2,135E-04		4,249E-01	
Kritischer F-Wert	1,050		1,061		1,047		1,089		1,306	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-37: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen für These 3-1a für MQ-Gruppe 7

Linker Fahrstreifen												
Zwei-Stichproben F-Test	0 - 500 [Kfz/h]		500 - 1000 [Kfz/h]		1000 - 1500 [Kfz/h]		1500 - 2000 [Kfz/h]		2000 - 2500 [Kfz/h]		2500 - 3000 [Kfz/h]	
	Signifikanzniveau 0,95											
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert $s(v)$	14,426	13,293	15,185	14,691	13,968	13,806	13,096	12,512	11,819	11,262	10,004	9,151
Varianz	66,489	57,551	26,856	24,370	19,566	18,639	19,214	17,393	16,781	15,779	11,135	6,950
Beobachtungen	45102	1332	48905	1202	48616	1553	21758	892	8882	386	1943	73
Freiheitsgrade (df)	45101	1331	48904	1201	48615	1552	21757	891	8881	385	1942	72
Shapiro p-Wert	0	4,658E-19	0	4,284E-13	0	1,646E-19	0	5,978E-17	8,408E-45	3,588E-09	6,134E-25	3,404E-04
Levene p-Wert	7,187E-04		4,801E-02		1,500E-01		1,763E-02		6,714E-01		1,356E-01	
Prüfgröße (F)	1,155		1,102		1,050		1,105		1,064		1,602	
p-Wert F-Test	1,785E-04		1,066E-02		9,403E-02		2,173E-02		2,084E-01		5,676E-03	
Kritischer F-Wert	1,068		1,072		1,063		1,085		1,133		1,349	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		ja		nein		ja		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen		H₀ verwerfen	

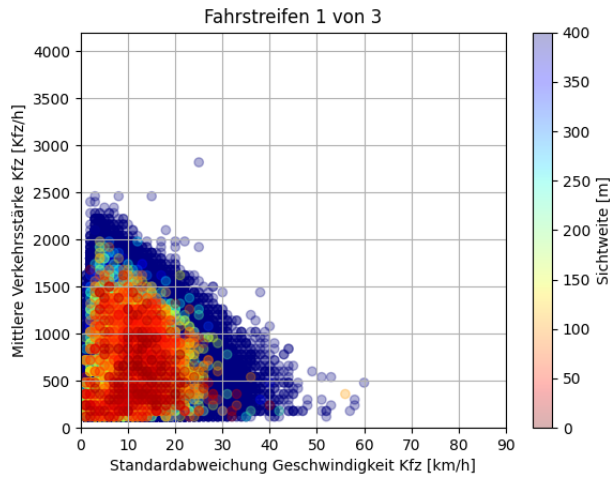


Abbildung 0-48: Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten für den rechten Fahrstreifen der MQ-Gruppe 7 der These 3-1a

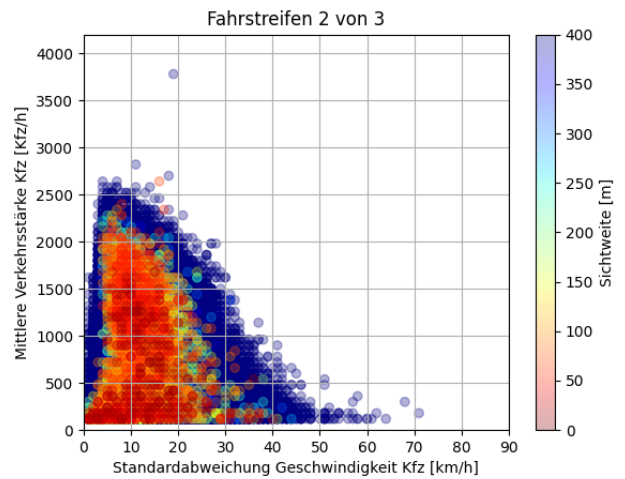


Abbildung 0-49: Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten für den mittleren Fahrstreifen der MQ-Gruppe 7 der These 3-1a

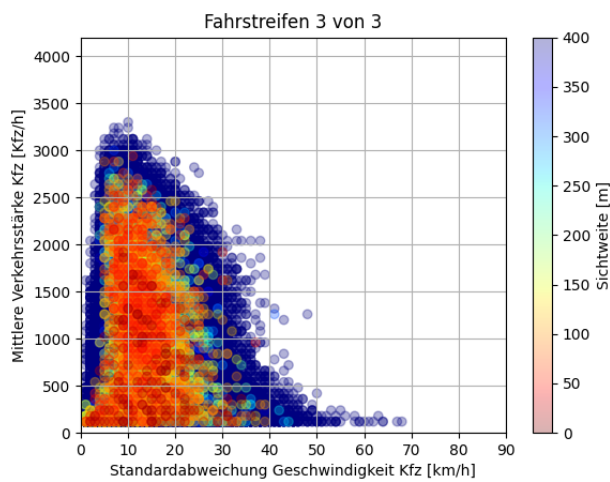


Abbildung 0-50: Verteilung der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Sichtweiten für den linken Fahrstreifen der MQ-Gruppe 7 der These 3-1a

A6.6: These 3-9a und 3-8

MQ-Gruppe 1

Tabelle 0-38: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 3-9a für MQ-Gruppe 1

Zwei-Stichproben F-Test	Fahrstreifen 1		Fahrstreifen 2	
	Signifikanzniveau 0,95			
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert $s(v)$	12,242	11,009	9,834	9,341
Varianz	23,518	34,077	22,105	29,926
Beobachtungen	496	5733	481	4642
Freiheitsgrade (df)	495	5732	480	4641
Shapiro p-Wert	5,045E-04	0,00	9,76E-13	0,00
Levene p-Wert	1,821E-02		9,406E-01	
Prüfgröße (F)	1,449		1,354	
p-Wert F-Test	5,850E-08		9,695E-06	
Kritischer F-Wert	1,118		1,121	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

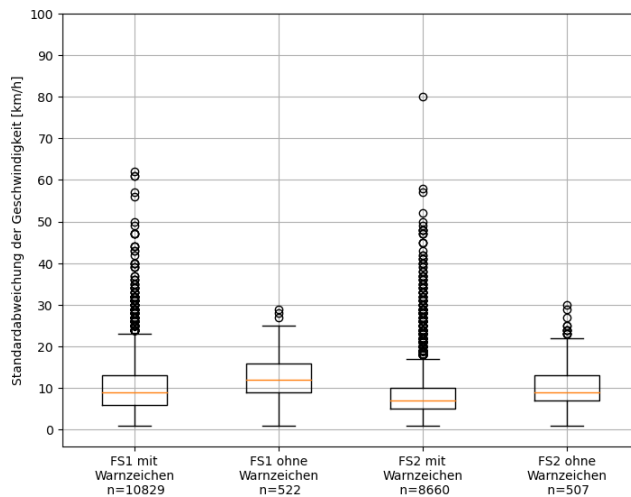


Abbildung 0-51: Boxplots der Standardabweichungen der Geschwindigkeit mit Warnschaltung und ohne Warnschaltung je Fahrstreifen für MQ-Gruppe 1 der These 3-9a

MQ-Gruppe 4

Tabelle 0-39: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen für These 3-8 für MQ-Gruppe 4

Zwei-Stichproben F-Test	Rechter Fahrstreifen					
	Sichtweitenstufe 1		Sichtweitenstufe 2		Sichtweitenstufe 3	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v	92,7	92,7	96,3	92,3	104,3	88,5
Varianz	226,432	21,067	216,814	52,879	219,365	39,172
Beobachtungen	4642	79	5381	859	2285	424
Freiheitsgrade (df)	4641	78	5380	858	2284	423
Shapiro p-Wert	7,24E-11	1,49E-01	5,55E-17	9,60E-15	2,19E-24	9,56E-15
Levene p-Wert	6,07E-14		1,69E-94		8,36E-52	
Prüfgröße (F)	10,748		4,100		5,600	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16	
Kritischer F-Wert	1,330		1,091		1,134	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-40: Statistische Auswertung für den mittleren Fahrstreifen für These 3-8 für MQ-Gruppe 4

Mittlerer Fahrstreifen						
Zwei-Stichproben F-Test	Sichtweitenstufe 1		Sichtweitenstufe 2		Sichtweitenstufe 3	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v	111,5	116,5	115,6	113,8	123,3	105,2
Varianz	420,145	38,504	395,103	137,707	321,554	88,043
Beobachtungen	4133	79	4795	807	2161	411
Freiheitsgrade (df)	4132	78	4794	806	2160	410
Shapiro p-Wert	5,43E-41	9,89E-01	3,91E-43	1,46E-10	8,47E-32	1,72E-12
Levene p-Wert	2,23E-09		1,42E-25		2,66E-20	
Prüfgröße (F)	10,912		2,869		3,652	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16	
Kritischer F-Wert	1,330		1,094		1,137	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-41: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen für These 3-8 für MQ-Gruppe 4

Linker Fahrstreifen						
Zwei-Stichproben F-Test	Sichtweitenstufe 1		Sichtweitenstufe 2		Sichtweitenstufe 3	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v	122,3	133,9	123,1	131,8	123,5	119,8
Varianz	523,768	76,022	633,573	212,764	662,399	89,403
Beobachtungen	2278	79	1912	440	460	290
Freiheitsgrade (df)	2277	78	1911	439	459	289
Shapiro p-Wert	3,34E-12	1,11E-02	2,30E-13	1,18E-09	2,21E-03	2,20E-09
Levene p-Wert	1,47E-16		1,92E-48		4,91E-47	
Prüfgröße (F)	6,890		2,978		7,409	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16	
Kritischer F-Wert	1,332		1,134		1,193	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

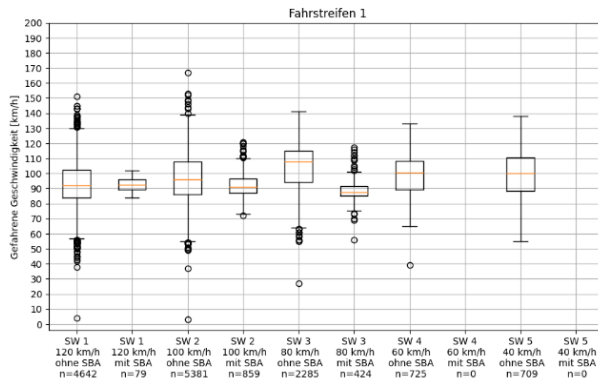


Abbildung 0-52: Boxplots der mittleren Geschwindigkeit für unterschiedliche SW-Stufen nach MARZ 2018 für den rechten Fahrstreifen für MQ-Gruppe 4 der These 3-8

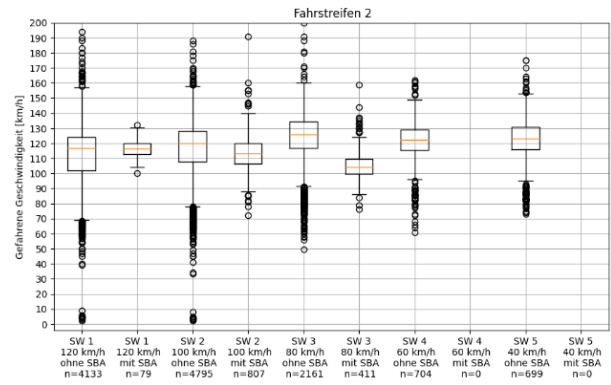


Abbildung 0-53: Boxplots der mittleren Geschwindigkeit für unterschiedliche SW-Stufen nach MARZ 2018 für den mittleren Fahrstreifen für MQ-Gruppe 4 der These 3-8

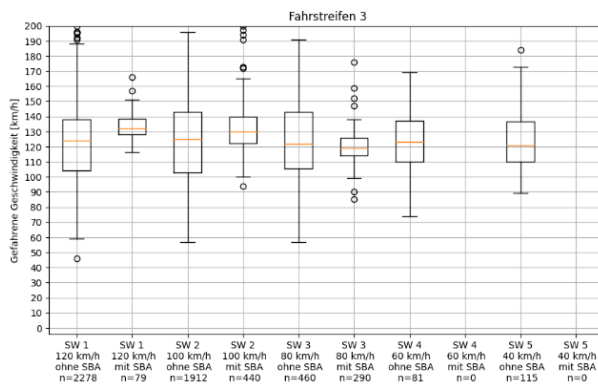


Abbildung 0-54: Boxplots der mittleren Geschwindigkeit für unterschiedliche SW-Stufen nach MARZ 2018 für den linken Fahrstreifen für MQ-Gruppe 4 der These 3-8

MQ-Gruppe 5

Tabelle 0-42: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 3-9a für MQ-Gruppe 5

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen		mittlerer Fahrstreifen		linker Fahrstreifen	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	12,136	8,848	7,836	8,670	7,985	7,814
Varianz	29,085	9,622	18,434	11,555	18,914	14,558
Beobachtungen	1558	79	930	55	338	59
Freiheitsgrade (df)	1557	78	929	54	337	58
Shapiro p-Wert	2,01E-13	3,99E-02	3,23E-17	3,01E-04	7,90E-17	2,62E-07
Levene p-Wert	6,474E-05		4,028E-02		2,290E-01	
Prüfgröße (F)	3,023		1,595		1,299	
p-Wert F-Test	5,621E-09		1,609E-02		1,128E-01	
Kritischer F-Wert	1,335		1,422		1,423	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen	

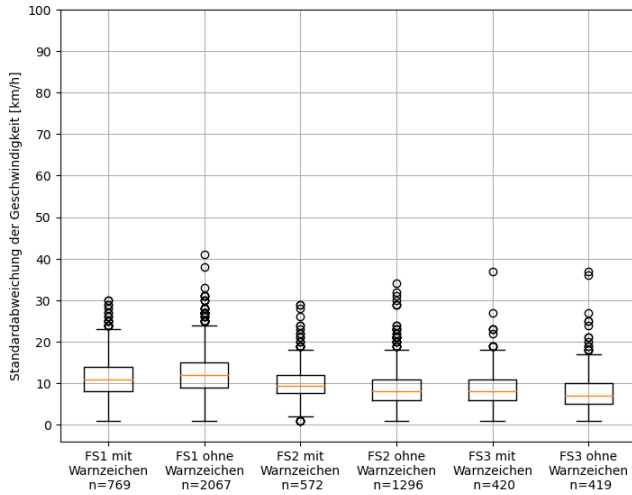


Abbildung 0-55: Boxplots der Standardabweichungen der Geschwindigkeit mit Warnschaltung und ohne Warnschaltung je Fahrstreifen für MQ-Gruppe 5 der These 3-9a

MQ-Gruppe 6

Tabelle 0-43: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 3-9a für MQ-Gruppe 6

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen		mittlerer Fahrstreifen		linker Fahrstreifen	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	8,594	6,909	9,899	8,718	8,821	8,629
Varianz	14,901	16,807	13,345	20,068	17,732	30,382
Beobachtungen	1541	5224	1525	5285	1086	2138
Freiheitsgrade (df)	1540	5223	1524	5284	1085	2137
Shapiro p-Wert	1,74E-16	0,00E+00	8,00E-20	1,63E-42	3,91E-21	1,08E-40
Levene p-Wert	5,947E-01		2,974E-12		3,383E-06	
Prüfgröße (F)	1,128		1,504		1,713	
p-Wert F-Test	1,883E-03		1,110E-16		1,110E-16	
Kritischer F-Wert	1,071		1,071		1,091	
F _{pr} < F _{Kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

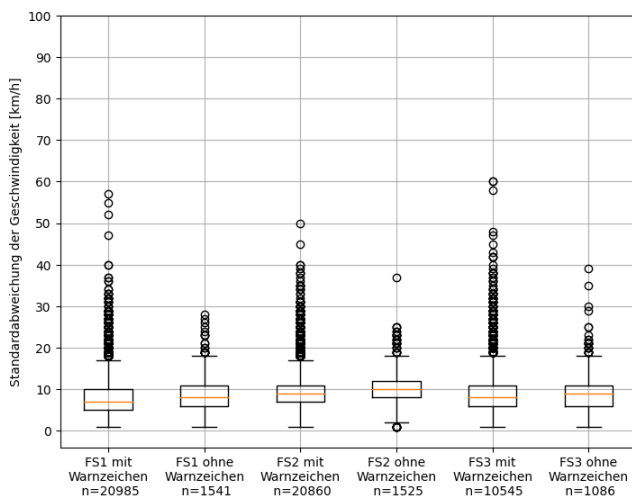


Abbildung 0-56: Boxplots der Standardabweichungen der Geschwindigkeit mit Warnschaltung und ohne Warnschaltung je Fahrstreifen für MQ-Gruppe 6 der These 3-9a

MQ-Gruppe 7

Tabelle 0-44: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 3-9a für MQ-Gruppe 7

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen		mittlerer Fahrstreifen		linker Fahrstreifen	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	13,233	7,475	13,473	9,547	10,197	8,947
Varianz	17,132	21,168	24,594	41,439	30,254	51,225
Beobachtungen	403	514	400	351	335	114
Freiheitsgrade (df)	402	513	399	350	334	113
Shapiro p-Wert	1,19E-13	3,04E-16	3,41E-09	5,00E-17	5,31E-12	6,74E-11
Levene p-Wert	1,415E-02		1,261E-02		1,297E-01	
Prüfgröße (F)	1,236		1,685		1,693	
p-Wert F-Test	1,279E-02		2,366E-07		1,722E-04	
Kritischer F-Wert	1,169		1,185		1,276	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

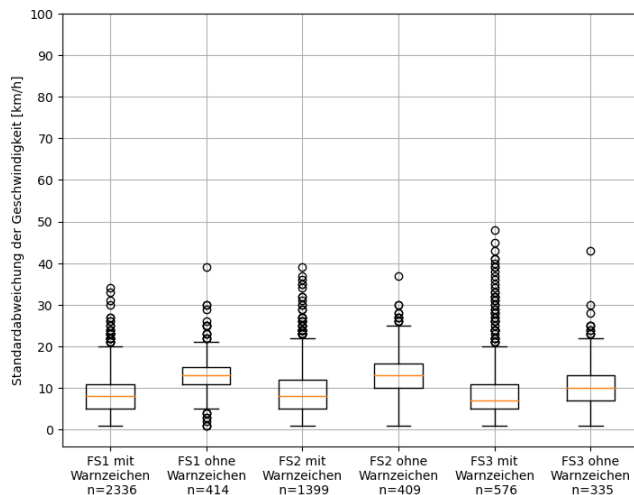


Abbildung 0-57: Boxplots der Standardabweichungen der Geschwindigkeit mit Warnschaltung und ohne Warnschaltung je Fahrstreifen für MQ-Gruppe 7 der These 3-9a

Tabelle 0-45: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen für These 3-8 für MQ-Gruppe 7

Zwei-Stichproben F-Test	Rechter Fahrstreifen					
	Sichtweitenstufe 1		Sichtweitenstufe 2		Sichtweitenstufe 3	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v	97,9	101,1	99,9	96,0	106,7	83,8
Varianz	100,008	118,995	107,030	138,864	115,421	78,110
Beobachtungen	2345	1879	3515	1410	1743	328
Freiheitsgrade (df)	2344	1878	3514	1409	1742	327
Shapiro p-Wert	2,103E-25	1,856E-07	2,782E-17	8,146E-14	4,382E-04	3,548E-15
Levene p-Wert	1,547E-06		3,495E-02		5,438E-13	
Prüfgröße (F)	1,19		1,297		1,478	
p-Wert F-Test	3,400E-05		1,423E-09		6,470E-06	
Kritischer F-Wert	1,075		1,075		1,155	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-46: Statistische Auswertung für den mittleren Fahrstreifen für These 3-8 für MQ-Gruppe 7

Mittlerer Fahrstreifen						
Zwei-Stichproben F-Test	Sichtweitenstufe 1		Sichtweitenstufe 2		Sichtweitenstufe 3	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v	119,6	113,5	120,5	103,9	125,8	90,0
Varianz	111,151	166,299	147,577	228,691	161,191	165,278
Beobachtungen	2134	1366	3139	1172	1693	239
Freiheitsgrade (df)	2133	1365	3138	1171	1692	238
Shapiro p-Wert	4,34E-21	6,16E-19	3,78E-15	4,93E-23	1,47E-19	4,23E-06
Levene p-Wert	6,524E-10		4,429E-06		8,307E-01	
Prüfgröße (F)	1,496		1,55		1,025	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,110E-16		3,907E-01	
Kritischer F-Wert	1,084		1,082		1,168	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen	

Tabelle 0-47: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen für These 3-8 für MQ-Gruppe 7

Linker Fahrstreifen						
Zwei-Stichproben F-Test	Sichtweitenstufe 1		Sichtweitenstufe 2		Sichtweitenstufe 3	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v	140,7	126,0	143,6	118,6	148,5	100,4
Varianz	239,837	242,253	255,388	340,124	320,729	207,509
Beobachtungen	1536	1093	2019	379	1380	60
Freiheitsgrade (df)	1535	1092	2018	378	1379	59
Shapiro p-Wert	5,91E-20	2,02E-22	1,39E-12	2,89E-14	1,73E-18	5,40E-05
Levene p-Wert	4,795E-01		4,089E-01		4,990E-03	
Prüfgröße (F)	1,01		1,332		1,546	
p-Wert F-Test	4,282E-01		8,753E-05		1,737E-02	
Kritischer F-Wert	1,096		1,135		1,397	
F _{pr} < F _{kr}	ja		nein		nein	
Ergebnis	H₀ annehmen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

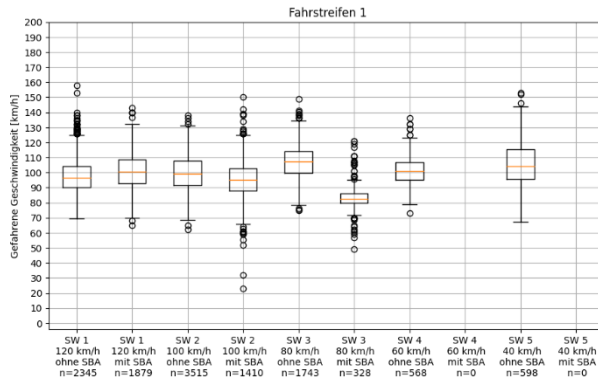


Abbildung 0-58: Boxplots der mittleren Geschwindigkeit für unterschiedliche SW-Stufen nach MARZ 2018 für den rechten Fahrstreifen für MQ-Gruppe 7 der These 3-8

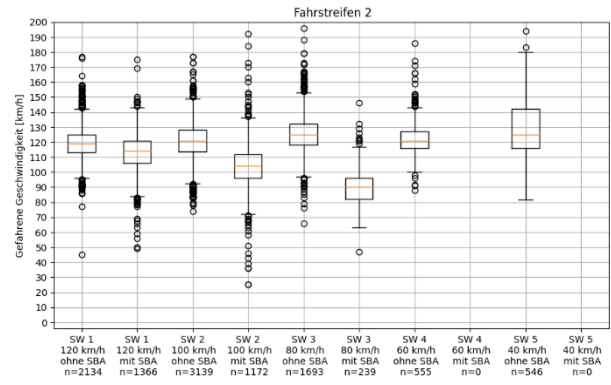


Abbildung 0-59: Boxplots der mittleren Geschwindigkeit für unterschiedliche SW-Stufen nach MARZ 2018 für den mittleren Fahrstreifen für MQ-Gruppe 7 der These 3-8

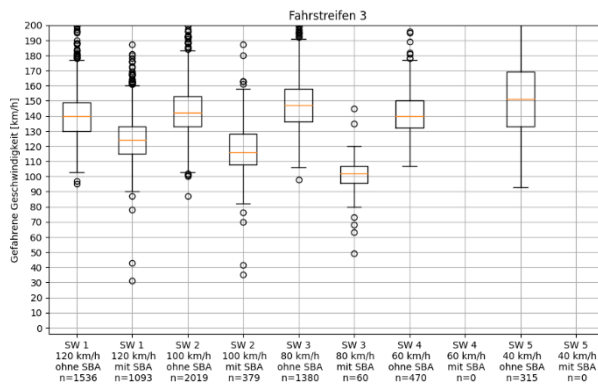


Abbildung 0-60: Boxplots der mittleren Geschwindigkeit für unterschiedliche SW-Stufen nach MARZ 2018 für den linken Fahrstreifen für MQ-Gruppe 7 der These 3-8

MQ-Gruppe 8

Tabelle 0-48: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 3-9a für MQ-Gruppe 8

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen		mittlerer Fahrstreifen		linker Fahrstreifen	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	6,966	6,013	6,642	5,235	4,415	3,538
Varianz	17,829	15,415	14,356	10,127	11,899	7,474
Beobachtungen	1868	4517	1699	4000	1048	2035
Freiheitsgrade (df)	1867	4516	1698	3999	1047	2034
Shapiro p-Wert	6,578E-26	2,102E-44	4,919E-23	1,180E-41	4,864E-34	8,128E-44
Levene p-Wert	8,84E-06		4,18E-15		3,77E-08	
Prüfgröße (F)	1,157		1,418		1,592	
p-Wert F-Test	7,546E-05		1,110E-16		1,110E-16	
Kritischer F-Wert	1,066		1,069		1,092	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

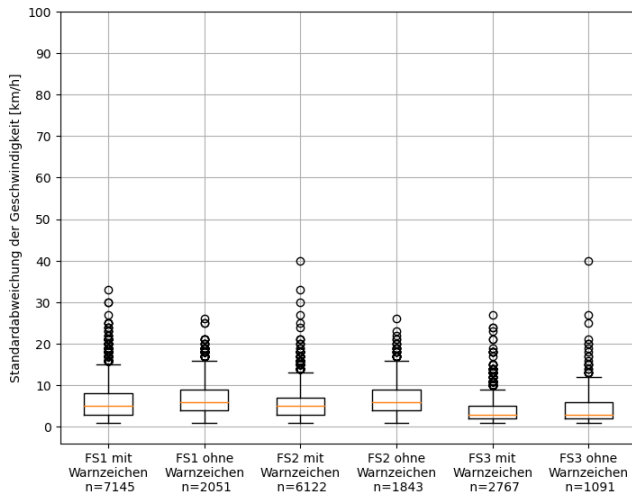


Abbildung 0-61: Boxplots der Standardabweichungen der Geschwindigkeit mit Warnschaltung und ohne Warnschaltung je Fahrstreifen für MQ-Gruppe 8 der These 3-9a

MQ-Gruppe 9

Tabelle 0-49: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 3-9a für MQ-Gruppe 9

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen		mittlerer Fahrstreifen		linker Fahrstreifen	
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	9,679	8,412	9,192	9,574	8,362	9,432
Varianz	27,419	19,164	20,103	24,502	18,927	35,331
Beobachtungen	268	1312	193	1017	69	387
Freiheitsgrade (df)	267	1311	192	1016	68	386
Shapiro p-Wert	4,842E-09	1,867E-17	3,066E-04	3,230E-18	1,188E-03	9,131E-14
Levene p-Wert	5,445E-04		2,369E-01		8,696E-03	
Prüfgröße (F)	1,431		1,219		1,867	
p-Wert F-Test	4,039E-05		4,333E-02		1,069E-03	
Kritischer F-Wert	1,164		1,209		1,383	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

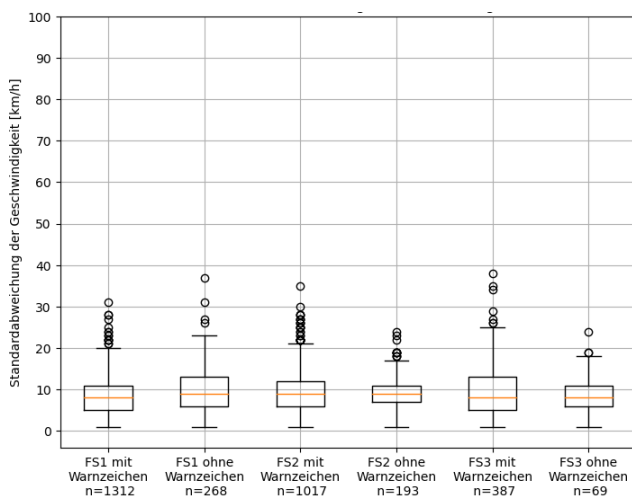


Abbildung 0-62: Boxplots der Standardabweichungen der Geschwindigkeit mit Warnschaltung und ohne Warnschaltung je Fahrstreifen für MQ-Gruppe 9 der These 3-9a

A6.7: These 1-9a

MQ-Gruppe 1

Tabelle 0-50: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 1-9a für MQ-Gruppe 1

Zwei-Stichproben F-Test	Rechter Fahrstreifen		Linker Fahrstreifen	
	Signifikanzniveau 0,95			
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	10,681	10,599	8,955	9,002
Varianz	17,392	24,937	22,476	22,877
Beobachtungen	664	18152	638	14569
Freiheitsgrade (df)	663	18151	637	14568
Shapiro p-Wert	1,92E-09	0	7,28E-26	0
Levene p-Wert	1,361E-02		5,385E-01	
Prüfgröße (F)	1,434		1,018	
p-Wert F-Test	5,796E-10		3,847E-01	
Kritischer F-Wert	1,099		1,101	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ annehmen	

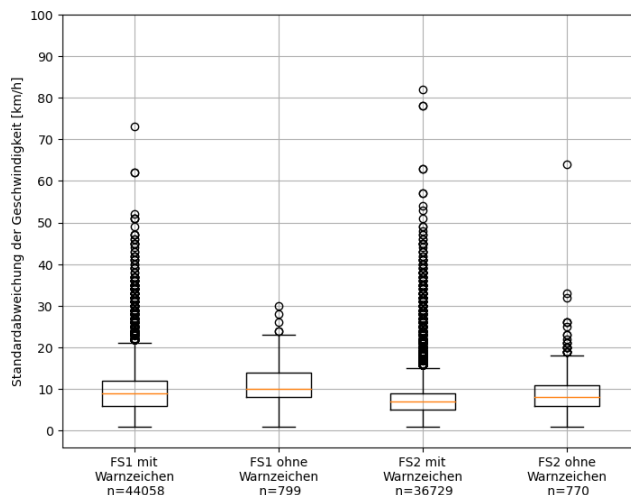


Abbildung 0-63: Boxplots der Standardabweichungen der Geschwindigkeit mit Warnschaltung und ohne Warnschaltung je Fahrstreifen für MQ-Gruppe 1 der These 1-9a

MQ-Gruppe 4

Tabelle 0-51: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 1-9a für MQ-Gruppe 4

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen		mittlerer Fahrstreifen		linker Fahrstreifen	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	9,257	8,094	10,875	8,818	11,164	8,504
Varianz	12,731	12,210	14,609	13,329	25,153	18,424
Beobachtungen	74	8261	72	7576	61	5159
Freiheitsgrade (df)	73	8260	71	7575	60	5158
Shapiro p-Wert	4,81E-01	1,63E-42	9,02E-06	0,00E+00	2,6E-03	8,3E-44
Levene p-Wert	3,00E-01		8,44E-01		8,79E-02	
Prüfgröße (F)	1,043		1,096		1,365	
p-Wert F-Test	0,379		2,72E-01		3,27E-02	
Kritischer F-Wert	1,287		1,291		1,318	
$F_{pr} < F_{kr}$	ja		ja		nein	
Ergebnis	H₀ annehmen		H₀ annehmen		H₀ verwerfen	

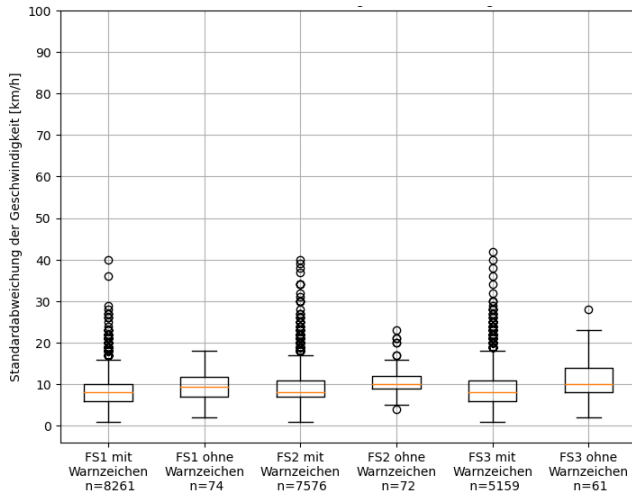


Abbildung 0-64: Boxplots der Standardabweichungen der Geschwindigkeit mit Warnschaltung und ohne Warnschaltung je Fahrstreifen für MQ-Gruppe 4 der These 1-9a

MQ-Gruppe 5

Tabelle 0-52: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 1-9a für MQ-Gruppe 5

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen		mittlerer Fahrstreifen		linker Fahrstreifen	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert $s(v)$	11,962	9,309	9,103	8,463	8,155	7,795
Varianz	20,505	13,235	16,558	15,767	17,480	14,660
Beobachtungen	7383	13968	5724	11754	3050	7707
Freiheitsgrade (df)	7382	13967	5723	11753	3049	7706
Shapiro p-Wert	2,10E-31	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,25E-39	0,00E+00
Levene p-Wert	1,125E-92		8,047E-19		2,397E-03	
Prüfgröße (F)	1,549		1,05		1,192	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,582E-02		2,050E-09	
Kritischer F-Wert	1,034		1,038		1,051	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

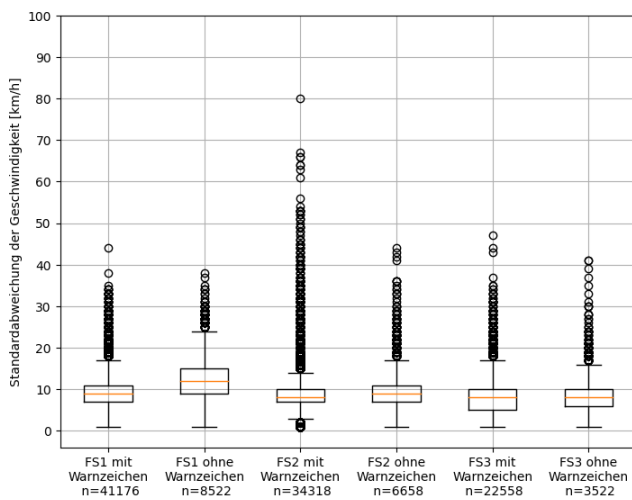


Abbildung 0-65: Boxplots der Standardabweichungen der Geschwindigkeit mit Warnschaltung und ohne Warnschaltung je Fahrstreifen für MQ-Gruppe 5 der These 1-9a

MQ-Gruppe 6

Tabelle 0-53: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 1-9a für MQ-Gruppe 6

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen		mittlerer Fahrstreifen		linker Fahrstreifen	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert $s(v)$	8,769	8,686	9,431	8,355	9,423	10,042
Varianz	31,817	43,621	13,595	11,735	43,386	66,155
Beobachtungen	577	2581	520	2507	324	1906
Freiheitsgrade (df)	576	2580	519	2506	323	1905
Shapiro p-Wert	4,65E-26	0,00E+00	8,78E-08	1,33E-39	2,87E-24	0,00E+00
Levene p-Wert	4,777E-02		3,141E-05		3,989E-02	
Prüfgröße (F)	1,371		1,159		1,525	
p-Wert F-Test	1,542E-06		1,345E-02		1,340E-06	
Kritischer F-Wert	1,116		1,116		1,155	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

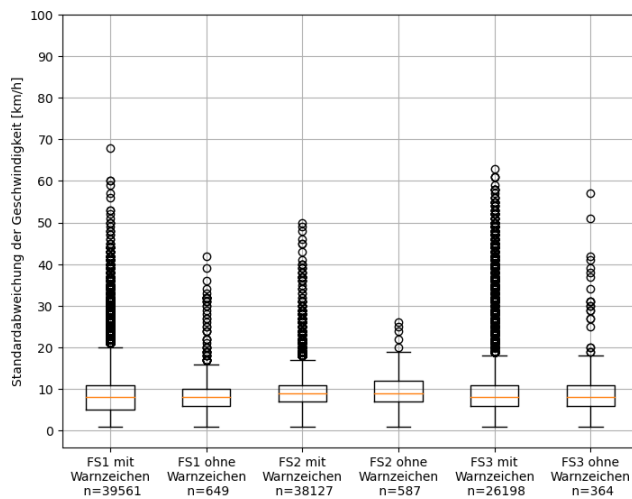


Abbildung 0-66: Boxplots der Standardabweichungen der Geschwindigkeit mit Warnschaltung und ohne Warnschaltung je Fahrstreifen für MQ-Gruppe 6 der These 1-9a

MQ-Gruppe 7

Tabelle 0-54: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 1-9a für MQ-Gruppe 7

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen		mittlerer Fahrstreifen		linker Fahrstreifen	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert $s(v)$	10,739	8,038	11,624	9,466	9,726	11,979
Varianz	18,562	25,494	21,202	29,779	36,032	97,638
Beobachtungen	92	6898	93	5585	84	5070
Freiheitsgrade (df)	91	6897	92	5584	83	5069
Shapiro p-Wert	4,567E-04	0,000E+00	1,300E-05	0,000E+00	1,245E-07	0,000E+00
Levene p-Wert	8,212E-01		5,141E-01		8,310E-03	
Prüfgröße (F)	1,373		1,404		2,71	
p-Wert F-Test	2,440E-02		1,723E-02		2,777E-08	
Kritischer F-Wert	1,300		1,298		1,317	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

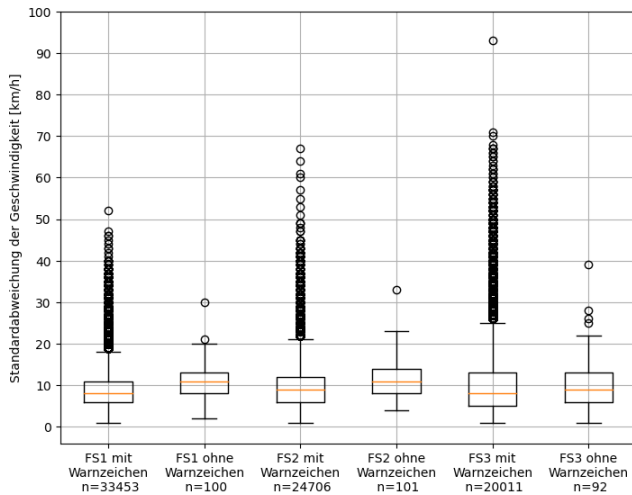


Abbildung 0-67: Boxplots der Standardabweichungen der Geschwindigkeit mit Warnschaltung und ohne Warnschaltung je Fahrstreifen für MQ-Gruppe 7 der These 1-9a

MQ-Gruppe 8

Tabelle 0-55: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 1-9a für MQ-Gruppe 8

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen		mittlerer Fahrstreifen		linker Fahrstreifen	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	6,785	8,445	6,175	7,148	4,018	5,720
Varianz	15,798	18,710	9,996	12,161	6,921	22,941
Beobachtungen	8137	4035	7673	3499	5080	1599
Freiheitsgrade (df)	8136	4034	7672	3498	5079	1598
Shapiro p-Wert	0,00E+00	7,35E-25	1,75E-38	7,33E-29	0,00E+00	2,74E-40
Levene p-Wert	2,55E-20		5,14E-06		5,48E-80	
Prüfgröße (F)	1,184		1,217		3,315	
p-Wert F-Test	1,91E-10		2,80E-12		1,11E-16	
Kritischer F-Wert	1,046		1,048		1,068	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

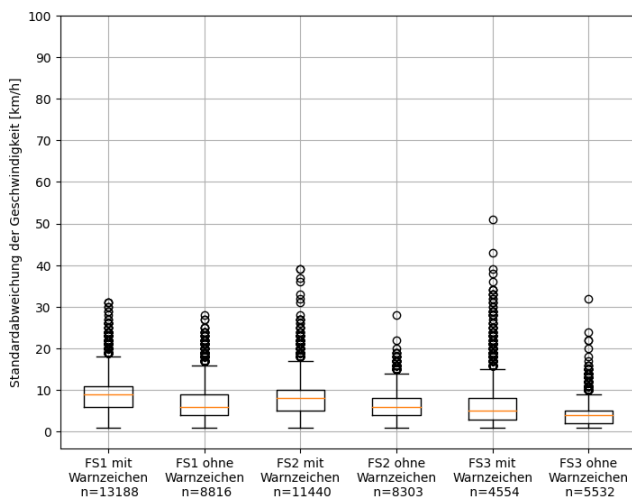


Abbildung 0-68: Boxplots der Standardabweichungen der Geschwindigkeit mit Warnschaltung und ohne Warnschaltung je Fahrstreifen für MQ-Gruppe 8 der These 1-9a

MQ-Gruppe 9

Tabelle 0-56: Ergebnisse der statistischen Auswertung für These 1-9a für MQ-Gruppe 9

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen		mittlerer Fahrstreifen		linker Fahrstreifen	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	9,435	8,434	10,322	8,757	9,807	8,259
Varianz	19,311	14,960	14,505	13,376	19,449	16,987
Beobachtungen	1660	13537	1499	12044	1132	7633
Freiheitsgrade (df)	1659	13536	1498	12043	1131	7632
Shapiro p-Wert	4,89E-15	1,40E-45	8,15E-21	0,00E+00	5,33E-19	0,00E+00
Levene p-Wert	4,846E-18		1,043E-01		7,126E-03	
Prüfgröße (F)	1,291		1,084		1,145	
p-Wert F-Test	3,311E-13		1,728E-02		1,083E-03	
Kritischer F-Wert	1,061		1,065		1,076	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

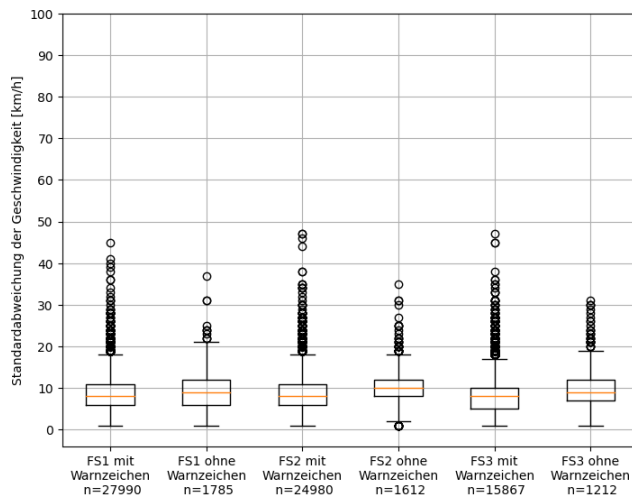


Abbildung 0-69: Boxplots der Standardabweichungen der Geschwindigkeit mit Warnschaltung und ohne Warnschaltung je Fahrstreifen für MQ-Gruppe 9 der These 1-9a

A6.8: These 1-13

MQ-Gruppe 4

Tabelle 0-57: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen für These 1-13 für Gruppe 4

Zwei-Stichproben F-Test	Rechter Fahrstreifen					
	Nässestufe 1		Nässestufe 2		Nässestufe 3	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v	87,3	92,0	85,7	90,1	86,9	81,1
Varianz	266,800	67,978	233,638	62,886	252,775	77,463
Beobachtungen	48129	78	24315	9233	3100	362
Freiheitsgrade (df)	48128	77	24314	9232	3099	361
Shapiro p-Wert	2,39E-35	3,77E-05	1,09E-27	8,56E-34	2,78E-12	3,34E-07
Levene p-Wert	1,13E-10		0,00E+00		4,62E-32	
Prüfgröße (F)	3,925		3,715		3,263	
p-Wert F-Test	3,43E-12		1,11E-16		1,11E-16	
Kritischer F-Wert	1,330		1,029		1,142	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-58: Statistische Auswertung für den mittleren Fahrstreifen für These 1-13 für Gruppe 4

Mittlerer Fahrstreifen						
Zwei-Stichproben F-Test	Nässestufe 1		Nässestufe 2		Nässestufe 3	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v	101,6	110,7	99,9	106,0	102,1	94,7
Varianz	460,229	68,959	397,198	85,568	464,024	157,790
Beobachtungen	44236	76	22919	8823	2891	332
Freiheitsgrade (df)	44235	75	22918	8822	2890	331
Shapiro p-Wert	0	6,99E-01	0	1,15E-41	1,89E-24	9,90E-08
Levene p-Wert	6,88E-14		0,000		6,97E-34	
Prüfgröße (F)	6,674		4,642		2,941	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16	
Kritischer F-Wert	1,335		1,030		1,149	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-59: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen für These 1-13 für Gruppe 4

Linker Fahrstreifen						
Zwei-Stichproben F-Test	Nässestufe 1		Nässestufe 2		Nässestufe 3	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v	115,4	125,7	113,2	119,4	116,9	108,3
Varianz	495,751453	156,976188	425,667137	125,015095	647,938257	156,224092
Beobachtungen	36797	67	19440	6655	2490	208
Freiheitsgrade (df)	36796	66	19439	6654	2489	207
Shapiro p-Wert	6,20E-42	3,01E-04	6,18E-41	5,06E-42	3,63E-24	3,35E-07
Levene p-Wert	3,47E-08		0		1,17E-26	
Prüfgröße (F)	3,158		3,405		4,147	
p-Wert F-Test	2,07E-08		1,11E-16		1,11E-16	
Kritischer F-Wert	1,363		1,034		1,191	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

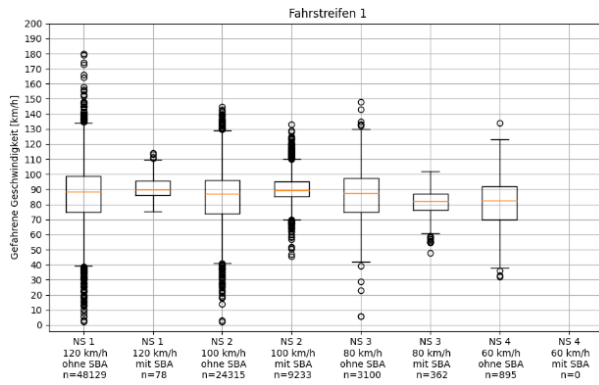


Abbildung 0-70: Boxplots der mittleren Geschwindigkeit für unterschiedliche niederschlagsbasierte Geschwindigkeitsschaltungen nach MARZ 2018 für den rechten Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 4

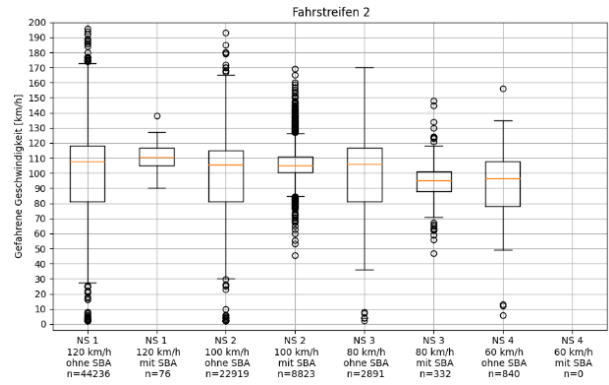


Abbildung 0-71: Boxplots der mittleren Geschwindigkeit für unterschiedliche niederschlagsbasierte Geschwindigkeitsschaltungen nach MARZ 2018 für den mittleren Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 4

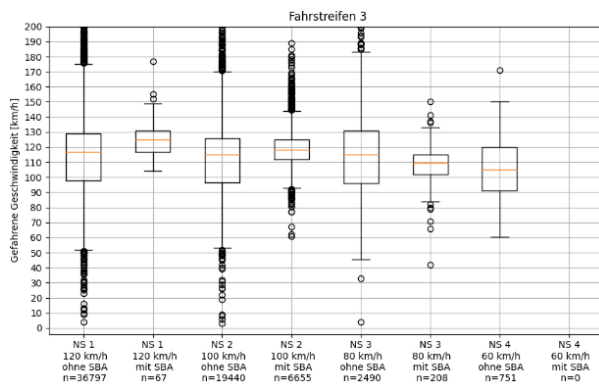


Abbildung 0-72: Boxplots der mittleren Geschwindigkeit für unterschiedliche niederschlagsbasierte Geschwindigkeitsschaltungen nach MARZ 2018 für den linken Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 4

MQ-Gruppe 7

Tabelle 0-60: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen für These 1-13 für Gruppe 7

Rechter Fahrstreifen						
Zwei-Stichproben F-Test	Nässestufe 1		Nässestufe 2		Nässestufe 3	
	Signifikanzniveau				0,95	
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v	94,7	94,0	94,0	86,7	94,9	80,8
Varianz	127,383	123,204	118,513	95,455	177,425	129,190
Beobachtungen	13253	18273	6098	9829	1088	8767
Freiheitsgrade (df)	13252	18272	6097	9828	1087	8766
Shapiro p-Wert	1,096E-42	0	1,962E-39	0	1,232E-16	0
Levene p-Wert	6,317E-02		3,403E-19		1,175E-16	
Prüfgröße (F)	1,034		1,242		1,373	
p-Wert F-Test	1,901E-02		1,110E-16		1,740E-13	
Kritischer F-Wert	1,027		1,039		1,076	
F _{pr} < F _{Kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-61: Statistische Auswertung für den mittleren Fahrstreifen für These 1-13 für Gruppe 7

Mittlerer Fahrstreifen						
Zwei-Stichproben F-Test	Nässestufe 1		Nässestufe 2		Nässestufe 3	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v	115,2	105,0	113,2	95,0	116,3	89,2
Varianz	179,432	142,439	166,124	110,665	268,709	142,439
Beobachtungen	11837	13157	5429	8036	1009	6863
Freiheitsgrade (df)	11836	13156	5428	8035	1008	6862
Shapiro p-Wert	8,135E-41	0	5,756E-32	5,686E-38	2,198E-01	0
Levene p-Wert	2,557E-15		2,418E-30		2,617E-55	
Prüfgröße (F)	1,260		1,501		1,886	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,110E-16		1,110E-16	
Kritischer F-Wert	1,030		1,042		1,080	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-62: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen für These 1-13 für Gruppe 7

Linker Fahrstreifen						
Zwei-Stichproben F-Test	Nässestufe 1		Nässestufe 2		Nässestufe 3	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v	135,5	116,0	131,7	104,0	140,6	97,0
Varianz	339,313	235,981	324,210	242,167	541,359	378,981
Beobachtungen	8707	11919	4063	7375	822	5658
Freiheitsgrade (df)	8706	11918	4062	7374	821	5657
Shapiro p-Wert	6,981E-35	0	4,263E-35	0	7,052E-05	1,976E-43
Levene p-Wert	9,388E-98		4,808E-19		3,012E-21	
Prüfgröße (F)	1,438		1,339		1,428	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,110E-16		8,253E-13	
Kritischer F-Wert	1,033		1,046		1,089	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

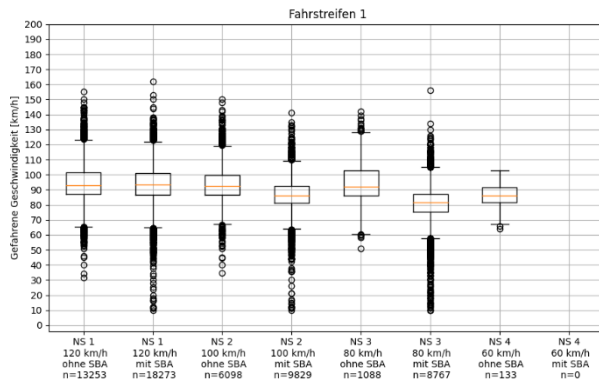


Abbildung 0-73: Boxplots der mittleren Geschwindigkeit für unterschiedliche niederschlagsbasierte Geschwindigkeitsschaltungen nach MARZ 2018 für den rechten Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 7

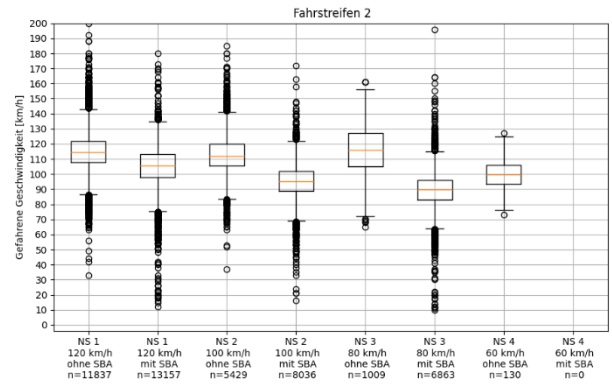


Abbildung 0-74: Boxplots der mittleren Geschwindigkeit für unterschiedliche niederschlagsbasierte Geschwindigkeitsschaltungen nach MARZ 2018 für den mittleren Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 7

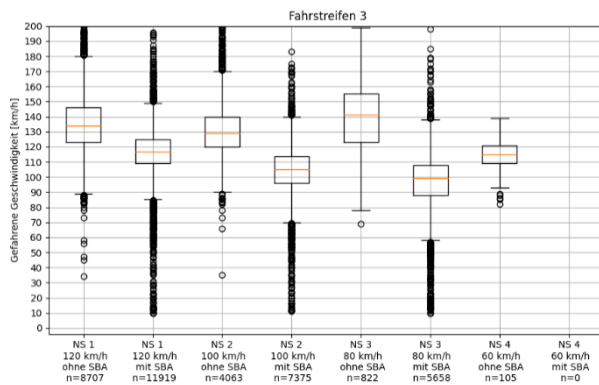


Abbildung 0-75: Boxplots der mittleren Geschwindigkeit für unterschiedliche niederschlagsbasierte Geschwindigkeitsschaltungen nach MARZ 2018 für den linken Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 7

MQ-Gruppe 8

Tabelle 0-63: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen für These 1-13 für Gruppe 8

Rechter Fahrstreifen								
Zwei-Stichproben F-Test	Nässestufe 1		Nässestufe 2		Nässestufe 3		Nässestufe 4	
	Signifikanzniveau 0,95							
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v	96,6	102,2	97,6	101,0	95,3	93,9	90,1	83,3
Varianz	181,043	158,581	124,292	130,900	108,281	133,618	128,659	84,177
Beobachtungen	17638	21910	7998	14502	1838	2504	465	277
Freiheitsgrade (df)	17637	21909	7997	14501	1837	2503	464	276
Shapiro p-Wert	0	0	6,15E-41	2,40E-32	2,06E-24	1,29E-26	2,71E-07	7,30E-03
Levene p-Wert	7,808E-02		8,118E-01		4,353E-01		8,724E-02	
Prüfgröße (F)	1,142		1,053		1,234		1,528	
p-Wert F-Test	1,110E-16		4,486E-03		7,684E-07		5,915E-05	
Kritischer F-Wert	1,024		1,033		1,074		1,196	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-64: Statistische Auswertung für den mittleren Fahrstreifen für These 1-13 für Gruppe 8

Mittlerer Fahrstreifen								
Zwei-Stichproben F-Test	Nässestufe 1		Nässestufe 2		Nässestufe 3		Nässestufe 4	
	Signifikanzniveau 0,95							
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v	119,4	118,2	119,3	114,6	115,6	107,6	106,8	92,9
Varianz	232,672	150,140	169,159	157,763	172,062	230,993	204,177	97,980
Beobachtungen	15494	20342	7053	13018	1639	2199	426	255
Freiheitsgrade (df)	15493	20341	7052	13017	1638	2198	425	254
Shapiro p-Wert	0	2,70E-43	3,41E-38	2,61E-39	1,91E-08	1,06E-22	1,37E-02	7,04E-01
Levene p-Wert	3,387E-27		7,003E-01		1,180E-03		2,823E-08	
Prüfgröße (F)	1,550		1,072		1,342		2,084	
p-Wert F-Test	1,11E-16		0,000421785		1,37E-10		1,72E-10	
Kritischer F-Wert	1,025		1,035		1,079		1,206	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-65: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen für These 1-13 für Gruppe 8

Linker Fahrstreifen								
Zwei-Stichproben F-Test	Nässestufe 1		Nässestufe 2		Nässestufe 3		Nässestufe 4	
	Signifikanzniveau 0,95							
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v	135,2	126,4	132,8	121,3	129,2	115,8	121,0	99,1
Varianz	180,680	161,925	155,757	234,691	168,773	378,215	311,949	115,405
Beobachtungen	8485	13080	3820	7584	907	1067	217	206
Freiheitsgrade (df)	8484	13079	3819	7583	906	1066	216	205
Shapiro p-Wert	0	0	3,28E-33	1,16E-25	2,53E-11	6,37E-10	4,44E-03	4,82E-03
Levene p-Wert	3,160E-01		6,942E-51		3,679E-28		4,038E-08	
Prüfgröße (F)	1,116		1,507		2,241		2,703	
p-Wert F-Test	1,14E-08		1,11022E-16		1,11E-16		1,02E-12	
Kritischer F-Wert	1,033		1,047		1,111		1,255	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

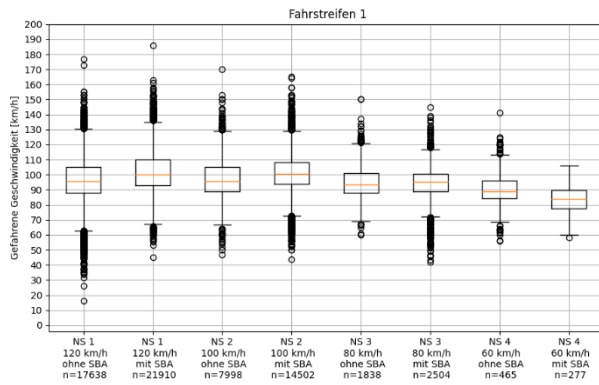


Abbildung 0-76: Boxplots der mittleren Geschwindigkeit für unterschiedliche niederschlagsbasierte Geschwindigkeitsschaltungen nach MARZ 2018 für den rechten Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 8

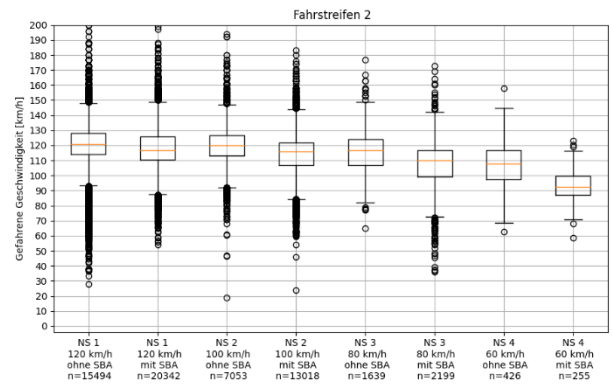


Abbildung 0-77: Boxplots der mittleren Geschwindigkeit für unterschiedliche niederschlagsbasierte Geschwindigkeitsschaltungen nach MARZ 2018 für den mittleren Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 8

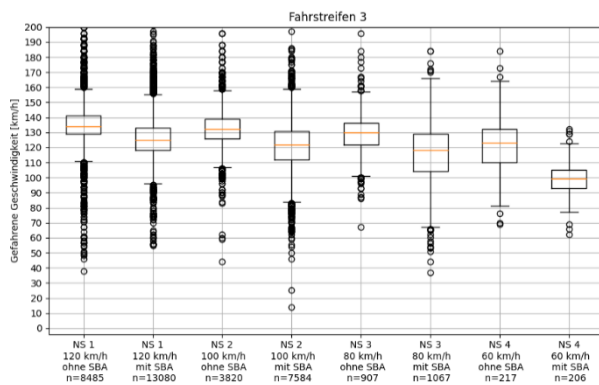


Abbildung 0-78: Boxplots der mittleren Geschwindigkeit für unterschiedliche niederschlagsbasierte Geschwindigkeitsschaltungen nach MARZ 2018 für den linken Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 8

A6.9: These 1-10

MQ-Gruppe 1

Tabelle 0-66: Statistische Auswertung für die Untersuchung der restriktiven Schaltung (60 km/h) für den rechten Fahrstreifen für These 1-10 für MQ-Gruppe 1

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen					
	120 km/h <-> 60 km/h		100 km/h <-> 60 km/h		80 km/h <-> 60 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	8,721	9,445	10,523	9,445	8,536	9,445
Varianz	16,427	18,869	24,280	18,869	16,403	18,869
Beobachtungen	18064	852	21042	852	8442	852
Freiheitsgrade (df)	18063	851	21041	851	8441	851
Shapiro p-Wert	0,00E+00	1,990E-15	0,00E+00	1,990E-15	0	1,990E-15
Levene p-Wert	1,96E-02		8,52E-03		6,13E-04	
Prüfgröße (F)	1,149		1,287		1,150	
p-Wert F-Test	2,02E-03		4,90E-07		2,44E-03	
Kritischer F-Wert	1,083		1,087		1,085	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-67: Statistische Auswertung für die Untersuchung der restriktiven Schaltung (60 km/h) für den mittleren Fahrstreifen für These 1-10 für MQ-Gruppe 1

Zwei-Stichproben F-Test	linker Fahrstreifen					
	120 km/h <-> 60 km/h		100 km/h <-> 60 km/h		80 km/h <-> 60 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	6,734	9,777	8,940	9,777	7,606	9,777
Varianz	12,532	21,090	22,586	21,090	17,686	21,090
Beobachtungen	16077	709	17000	709	7250	709
Freiheitsgrade (df)	16076	708	16999	708	7249	708
Shapiro p-Wert	0	2,102E-15	0	2,102E-15	0	2,102E-15
Levene p-Wert	2,55E-24		9,51E-02		6,84E-08	
Prüfgröße (F)	1,683		1,071		1,192	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,08E-01		5,85E-04	
Kritischer F-Wert	1,091		1,096		1,094	
F _{pr} < F _{kr}	nein		ja		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ annehmen		H₀ verwerfen	

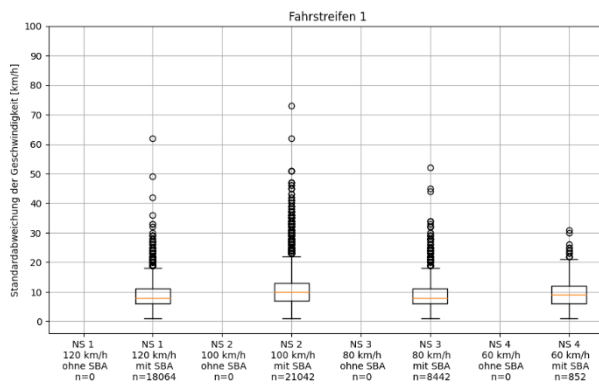


Abbildung 0-79: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 1

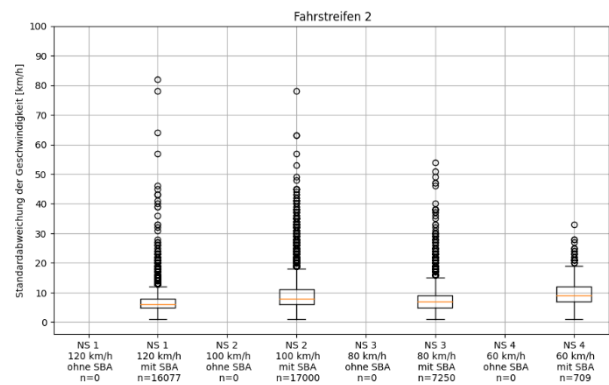


Abbildung 0-80: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 1

MQ-Gruppe 4

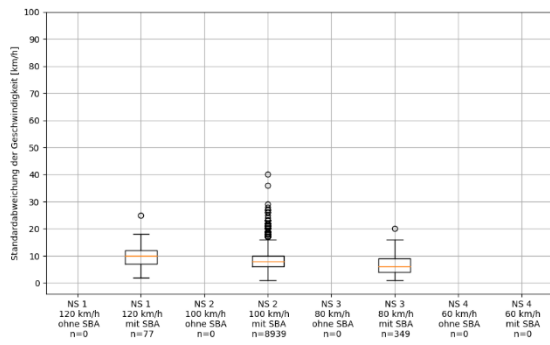


Abbildung 0-81: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 4

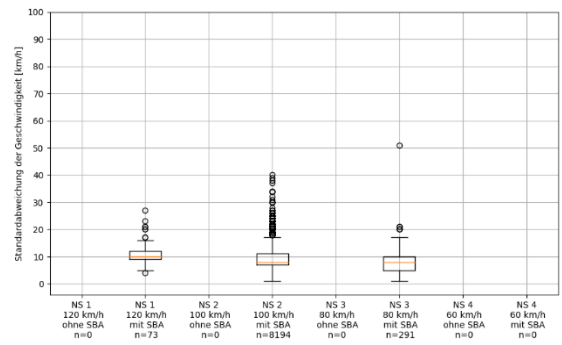


Abbildung 0-82: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den mittleren Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 4

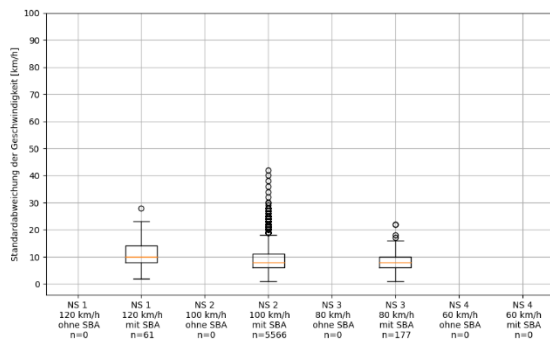


Abbildung 0-83: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 4

MQ-Gruppe 5

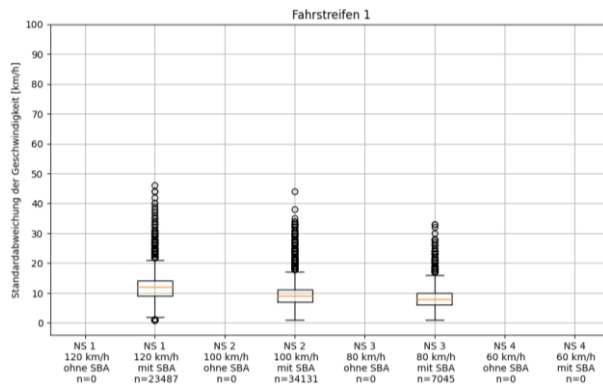


Abbildung 0-84: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 5

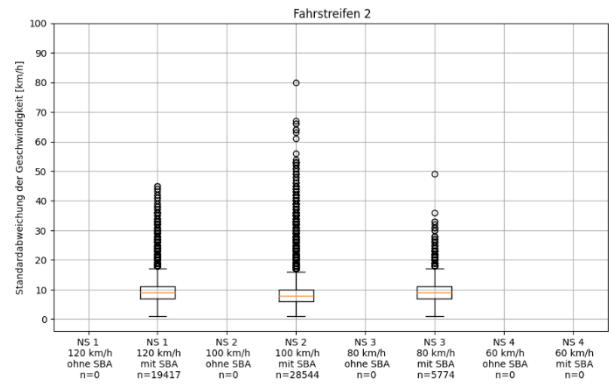


Abbildung 0-85: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den mittleren Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 5

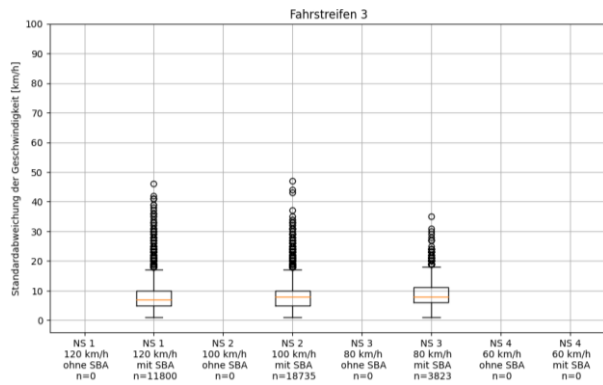


Abbildung 0-86: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 4

MQ-Gruppe 6

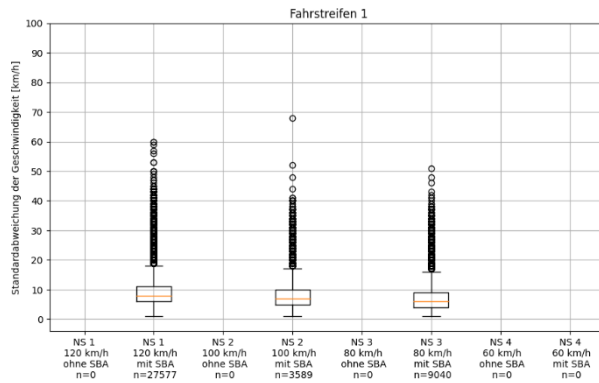


Abbildung 0-87: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 6

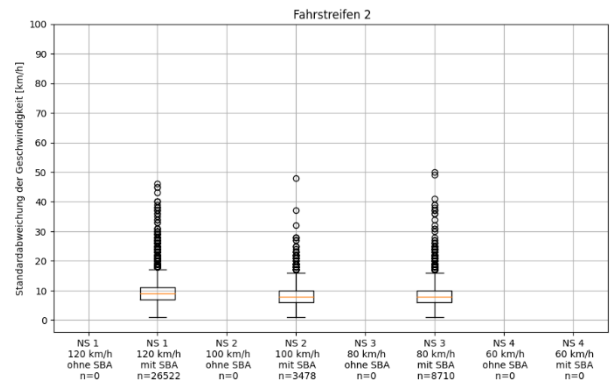


Abbildung 0-88: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den mittleren Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 6

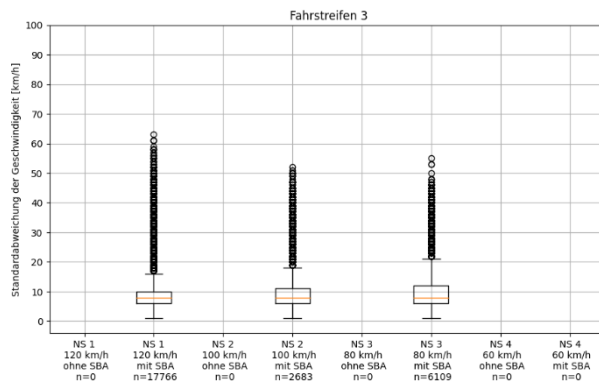


Abbildung 0-89: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 6

MQ-Gruppe 7

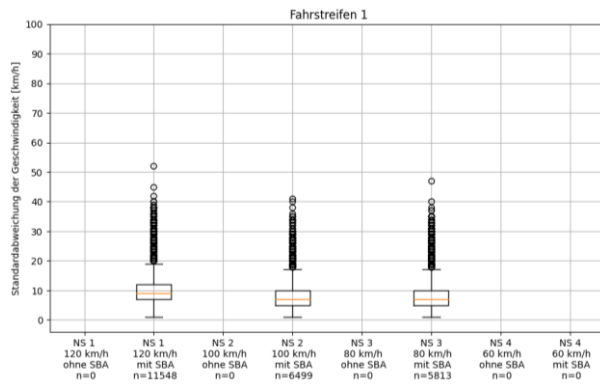


Abbildung 0-90: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 7

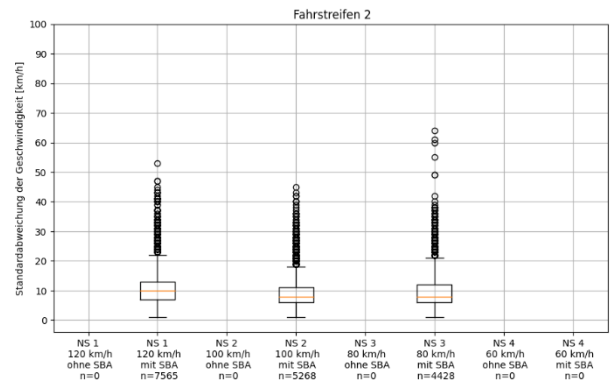


Abbildung 0-91: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den mittleren Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 7

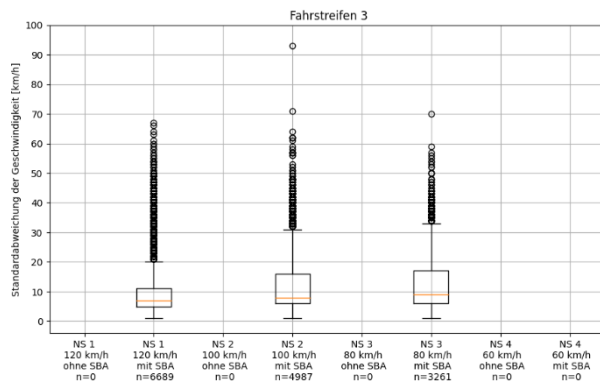


Abbildung 0-92: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 7

MQ-Gruppe 8

Tabelle 0-68: Statistische Auswertung für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen für These 1-10 für MQ-Gruppe 8

rechter Fahrstreifen				
Zwei-Stichproben F-Test	Nässestufe 1		Nässestufe 2	
	Signifikanzniveau 0,95			
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	7,068	8,919	7,682	8,971
Varianz	17,095	27,405	17,035	18,044
Beobachtungen	444	13677	22	10970
Freiheitsgrade (df)	443	13676	21	10969
Shapiro p-Wert	3,529E-12	0	1,922E-01	5,232E-36
Levene p-Wert	3,122E-10		5,862E-01	
Prüfgröße (F)	1,603		1,059	
p-Wert F-Test	7,155E-11		4,679E-01	
Kritischer F-Wert	1,123		1,784	
F _{pr} < F _{kr}	nein		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ annehmen	

Tabelle 0-69: Statistische Auswertung für unterschiedliche Nässestufen für den mittleren Fahrstreifen für These 1-10 für MQ-Gruppe 8

mittlerer Fahrstreifen				
Zwei-Stichproben F-Test	Nässestufe 1		Nässestufe 2	
	Signifikanzniveau 0,95			
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	6,988	6,977	7,389	7,657
Varianz	11,309	12,365	5,571	12,918
Beobachtungen	427	12331	18	9533
Freiheitsgrade (df)	426	12330	17	9532
Shapiro p-Wert	6,940E-08	0	1,360E-01	0
Levene p-Wert	5,193E-01		5,459E-02	
Prüfgröße (F)	1,093		2,319	
p-Wert F-Test	1,081E-01		2,120E-02	
Kritischer F-Wert	1,125		1,918	
F _{pr} < F _{kr}	ja		nein	
Ergebnis	H₀ annehmen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-70: Statistische Auswertung für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen für These 1-10 für MQ-Gruppe 8

linker Fahrstreifen				
Zwei-Stichproben F-Test	Nässestufe 1		Nässestufe 2	
	Signifikanzniveau 0,95			
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	4,772	4,630	5,750	5,969
Varianz	7,461	12,128	9,563	22,962
Beobachtungen	316	6678	16	3905
Freiheitsgrade (df)	315	6677	15	3904
Shapiro p-Wert	7,64E-10	0	5,290E-02	0
Levene p-Wert	4,826E-02		4,323E-01	
Prüfgröße (F)	1,626		2,401	
p-Wert F-Test	1,666E-08		2,482E-02	
Kritischer F-Wert	1,149		2,011	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-71: Statistische Auswertung für die Untersuchung der restriktiven Schaltung (60 km/h) für den rechten Fahrstreifen für These 1-10 für MQ-Gruppe 8

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen					
	120 km/h <-> 60 km/h		100 km/h <-> 60 km/h		80 km/h <-> 60 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	8,919	6,142	8,971	6,142	7,993	6,142
Varianz	27,405	9,138	18,044	9,138	13,480	9,138
Beobachtungen	13677	183	10970	183	2058	183
Freiheitsgrade (df)	13676	182	10969	182	2057	182
Shapiro p-Wert	0	1,094E-05	5,232E-36	1,094E-05	4,796E-20	1,094E-05
Levene p-Wert	2,999E+00		1,975E+00		1,475E+00	
Prüfgröße (F)	2,999		1,975		1,475	
p-Wert F-Test	1,110E-16		4,083E-09		4,247E-04	
Kritischer F-Wert	1,200		1,200		1,206	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-72: Statistische Auswertung für die Untersuchung der restriktiven Schaltung (60 km/h) für den mittleren Fahrstreifen für These 1-10 für MQ-Gruppe 8

Zwei-Stichproben F-Test	mittlerer Fahrstreifen					
	120 km/h <-> 60 km/h		100 km/h <-> 60 km/h		80 km/h <-> 60 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	6,977	6,189	7,657	6,189	8,285	6,189
Varianz	12,365	9,053	12,918	9,053	14,922	9,053
Beobachtungen	12331	169	9533	169	1764	169
Freiheitsgrade (df)	12330	168	9532	168	1763	168
Shapiro p-Wert	0	2,094E-04	0	2,094E-04	1,979E-21	2,094E-04
Levene p-Wert	2,250E-02		4,059E-02		1,872E-03	
Prüfgröße (F)	1,366		1,427		1,648	
p-Wert F-Test	3,841E-03		1,269E-03		2,512E-05	
Kritischer F-Wert	1,209		1,209		1,217	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-73: Statistische Auswertung für die Untersuchung der restriktiven Schaltung (60 km/h) für den linken Fahrstreifen für These 1-10 für MQ-Gruppe 8

Zwei-Stichproben F-Test	linker Fahrstreifen					
	120 km/h <-> 60 km/h		100 km/h <-> 60 km/h		80 km/h <-> 60 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	4,630	3,780	5,969	3,780	6,564	3,780
Varianz	12,128	7,873	22,962	7,873	30,308	7,873
Beobachtungen	6678	127	3905	127	546	127
Freiheitsgrade (df)	6677	126	3904	126	545	126
Shapiro p-Wert	0	2,568E-11	0	2,568E-11	1,451E-25	2,568E-11
Levene p-Wert	1,565E-02		9,857E-06		5,763E-06	
Prüfgröße (F)	1,541		2,917		3,850	
p-Wert F-Test	8,540E-04		5,658E-13		1,110E-16	
Kritischer F-Wert	1,248		1,249		1,270	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

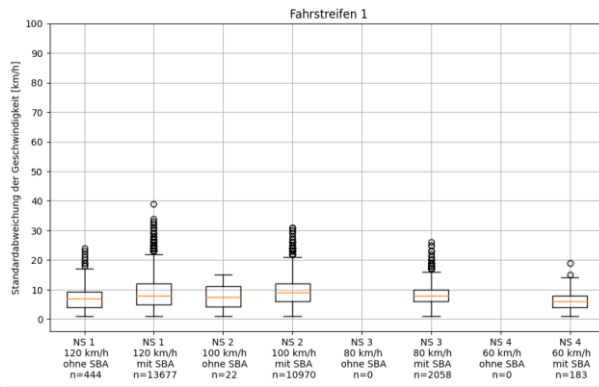


Abbildung 0-93: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 8

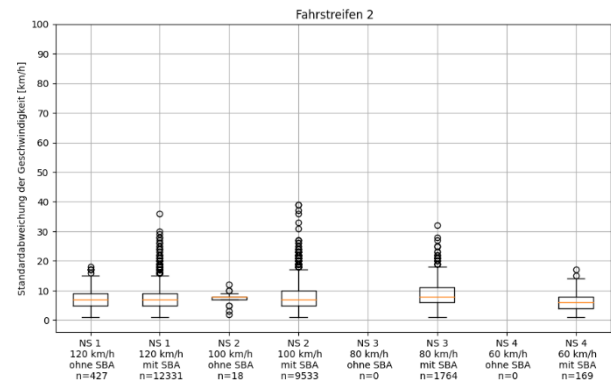


Abbildung 0-94: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den mittleren Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 8

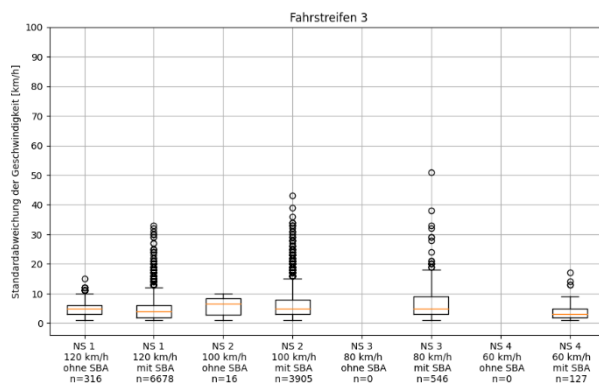


Abbildung 0-95: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 8

MQ-Gruppe 9

Tabelle 0-74: Statistische Auswertung der Nässestufe 1 für alle Fahrstreifen für These 1-10 für MQ-Gruppe 9

Nässestufe 1						
Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen		mittlerer Fahrstreifen		linker Fahrstreifen	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert s(v)	9,122	9,850	8,047	10,476	8,412	9,780
Varianz	24,684	19,066	20,587	13,626	16,007	20,794
Beobachtungen	156	2923	107	2697	17	2118
Freiheitsgrade (df)	155	2922	106	2696	16	2117
Shapiro p-Wert	7,342E-06	8,488E-19	5,004E-03	1,167E-26	2,444E-02	5,405E-26
Levene p-Wert	1,604E-01		1,610E-04		4,550E-01	
Prüfgröße (F)	1,295		1,511		1,299	
p-Wert F-Test	9,635E-03		7,193E-04		2,785E-01	
Kritischer F-Wert	1,200		1,241		1,963	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen	

Tabelle 0-75: Statistische Auswertung für die Untersuchung der restriktiven Schaltung (60 km/h) für den rechten Fahrstreifen für These 1-10 für MQ-Gruppe 9

Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen					
	120 km/h <-> 60 km/h		100 km/h <-> 60 km/h		80 km/h <-> 60 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert $s(\nu)$	9,850	7,286	8,525	7,286	7,369	7,286
Varianz	19,066	6,776	14,772	6,776	12,050	6,776
Beobachtungen	2923	14	26035	14	1941	14
Freiheitsgrade (df)	2922	13	26034	13	1940	13
Shapiro p-Wert	8,488E-19	1,200E-01	0	1,200E-01	1,005E-31	1,200E-01
Levene p-Wert	9,974E-03		5,556E-02		1,687E-01	
Prüfgröße (F)	2,814		2,180		1,778	
p-Wert F-Test	1,745E-02		5,254E-02		1,150E-01	
Kritischer F-Wert	2,133		2,131		2,134	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		ja		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ annehmen		H₀ annehmen	

Tabelle 0-76: Statistische Auswertung für die Untersuchung der restriktiven Schaltung (60 km/h) für den mittleren Fahrstreifen für These 1-10 für MQ-Gruppe 9

Zwei-Stichproben F-Test	mittlerer Fahrstreifen					
	120 km/h <-> 60 km/h		100 km/h <-> 60 km/h		80 km/h <-> 60 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert $s(\nu)$	10,476	8,091	8,736	8,091	8,360	8,091
Varianz	13,626	11,719	13,088	11,719	11,543	11,719
Beobachtungen	2697	11	23215	11	1754	11
Freiheitsgrade (df)	2696	10	23214	10	1753	10
Shapiro p-Wert	1,167E-26	4,399E-02	0	4,399E-02	1,568E-22	4,399E-02
Levene p-Wert	7,777E-01		8,871E-01		9,906E-01	
Prüfgröße (F)	1,163		1,117		1,015	
p-Wert F-Test	4,293E-01		4,634E-01		4,280E-01	
Kritischer F-Wert	2,406		2,405		1,794	
$F_{pr} < F_{kr}$	ja		ja		ja	
Ergebnis	H₀ annehmen		H₀ annehmen		H₀ annehmen	

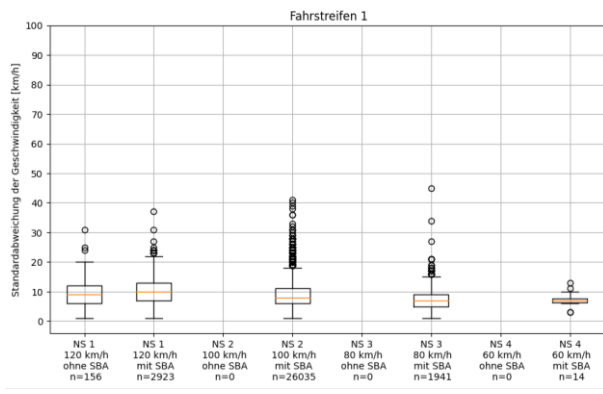


Abbildung 0-96: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 9

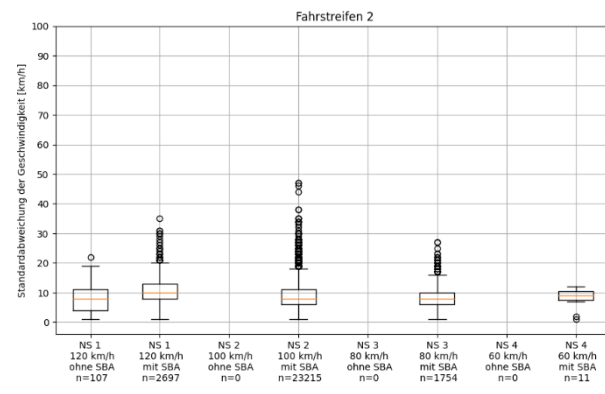


Abbildung 0-97: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den mittleren Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 9

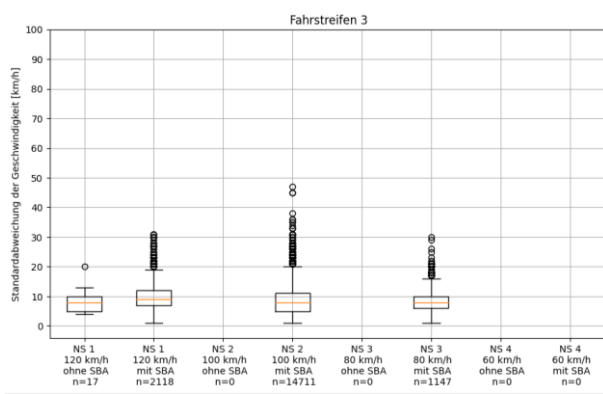


Abbildung 0-98: Boxplots der Standardabweichung der Geschwindigkeit für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen aus MQ-Gruppe 9

A6.10: These 1-11

MQ-Gruppe 1

Tabelle 0-77: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 1

Rechter Fahrstreifen, freier Verkehrszustand								
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h		A-Zeichen = 60 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95							
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v _{diff}	-23,3	-25,9	-5,8	-6,1	10,3	9,5	24,5	20,5
Varianz	59,081	58,364	61,362	77,874	81,777	64,849	119,108	76,168
Beobachtungen	1028139	20084	131844	23173	5361	9365	272	941
Freiheitsgrade (df)	1028138	20083	131843	23172	5360	9364	271	940
Shapiro p-Wert	0	0	0	0	0	0	0,03392991	2,3111E-11
Levene p-Wert	1,237E-07		2,242E-93		1,568E-04		1,046E-05	
Prüfgröße (F)	1,012		1,269		1,261		1,564	
p-Wert F-Test	1,193E-01		1,11022E-16		1,11022E-16		8,59787E-07	
Kritischer F-Wert	1,016789962		1,02E+00		1,04E+00		1,17E+00	
F _{pr} < F _{kr}	ja		nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ annehmen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-78: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 1

Linker Fahrstreifen, freier Verkehrszustand								
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h		A-Zeichen = 60 km/h	
	Signifikanzniveau							
	0,95							
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-19,8	-31,1	9,2	7,0	22,0	9,7	40,0	34,5
Varianz	315,483613	182,633708	112,150281	184,262462	168,79794	210,124312	163,864481	133,153999
Beobachtungen	1016479	18312	126759	19064	4755	8262	259	783
Freiheitsgrade (df)	1016478	18311	126758	19063	4754	8261	258	782
Shapiro p-Wert	0		0		2,0296E-39		0,11933794	1,2615E-16
Levene p-Wert	0		5,87E-305		6,74073E-58		5,219E-03	
Prüfgröße (F)	1,727		1,643		1,245		1,231	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,110E-16		1,110E-16		1,797E-02	
Kritischer F-Wert	1,018		1,018		1,043		1,177	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-79: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 1

Rechter Fahrstreifen, dichter Verkehrszustand								
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h		A-Zeichen = 60 km/h	
	Signifikanzniveau							
	0,95							
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-32,5	-37,1	-14,0	-17,8	0,6	-0,6	7,3	7,2
Varianz	45,7802856	59,7254039	49,0645114	51,3655666	64,5415023	71,6626892	151,766168	93,3339829
Beobachtungen	23964	356	33059	1142	4143	935	363	234
Freiheitsgrade (df)	23963	355	33058	1141	4142	934	362	233
Shapiro p-Wert	0	2,8401E-13	0	7,6808E-26	0	5,9322E-32	2,9198E-06	4,3255E-11
Levene p-Wert	3,26E-02		6,10E-02		4,146E-01		1,29114E-05	
Prüfgröße (F)	1,305		1,047		1,110		1,626	
p-Wert F-Test	1,067E-04		1,36E-01		1,92E-02		3,27E-05	
Kritischer F-Wert	1,127		1,071		1,086		1,219	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		ja		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ annehmen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-80: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 1

Linker Fahrstreifen, dichter Verkehrszustand								
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h		A-Zeichen = 60 km/h	
	Signifikanzniveau							
	0,95							
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-30,6	-33,0	-6,1	-12,7	4,1	0,8	14,9	15,5
Varianz	204,357979	151,95157	130,148897	128,246957	138,50864	120,227242	209,362224	94,2337392
Beobachtungen	23972	356	33037	1142	4143	935	363	233
Freiheitsgrade (df)	23971	355	33036	1141	4142	934	362	232
Shapiro p-Wert	0	5,6244E-07	0	9,1506E-24	7,0431E-28	1,6827E-14	0,00424521	5,51E-07
Levene p-Wert	3,34E-17		1,63E-01		1,819E-01		2,78439E-09	
Prüfgröße (F)	1,345		1,015		1,152		2,222	
p-Wert F-Test	1,015E-04		3,69E-01		3,37E-03		6,17E-11	
Kritischer F-Wert	1,137		1,074		1,089		1,219	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		ja		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ annehmen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

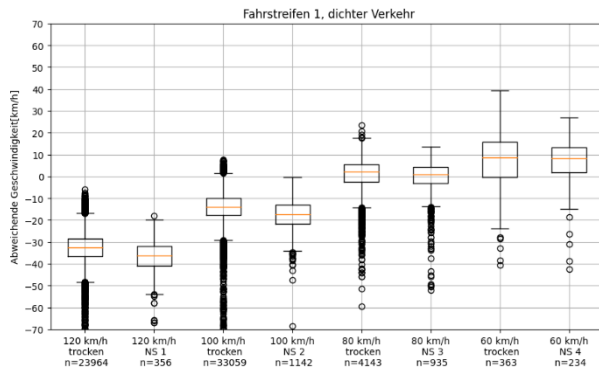


Abbildung 0-99: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 1

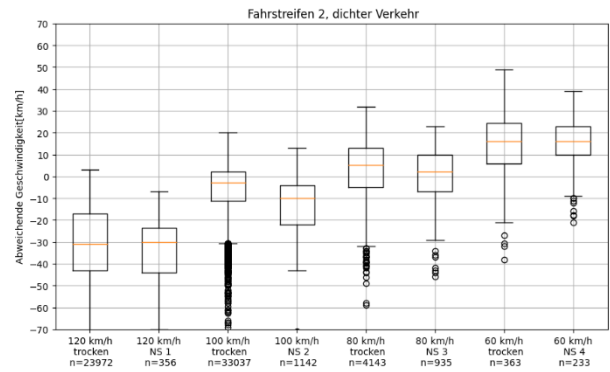


Abbildung 0-100: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 1

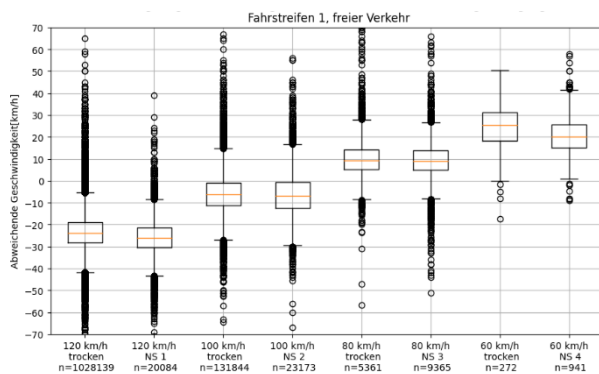


Abbildung 0-101: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 1

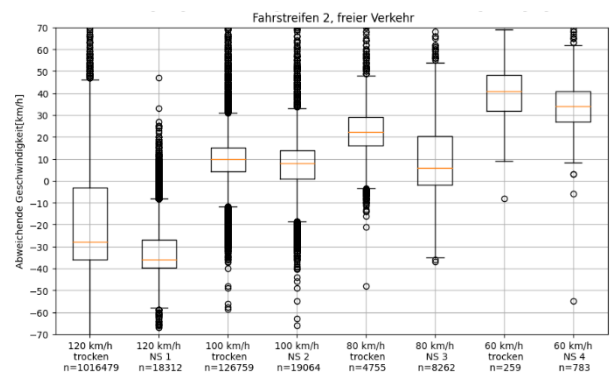


Abbildung 0-102: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 1

MQ-Gruppe 4

Tabelle 0-81: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 4

Rechter Fahrstreifen, freier Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-27,0	-28,0	-7,5	-9,9	6,3	1,1
Varianz	47,222	67,978	68,276	62,886	84,961	77,463
Beobachtungen	33245	78	62382	9233	1458	362
Freiheitsgrade (df)	33244	77	62381	9232	1457	361
Shapiro p-Wert	0	3,774E-05	0	8,662E-34	6,241E-31	3,343E-07
Levene p-Wert	0,078		1,481E-10		0,217	
Prüfgröße (F)	1,440		1,086		1,097	
p-Wert F-Test	7,004E-03		1,144E-07		0,139	
Kritischer F-Wert	1,278		1,026		1,150	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen	

Tabelle 0-82: Statistische Auswertung für den mittleren Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 4

Mittlerer Fahrstreifen, freier Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-4,7	-9,3	9,8	6,0	23,2	14,7
Varianz	57,358	68,959	93,502	85,568	152,576	157,790
Beobachtungen	33094	76	58460	8823	1386	332
Freiheitsgrade (df)	33093	75	58459	8822	1385	331
Shapiro p-Wert	0	6,990E-01	0	1,152E-41	2,947E-30	9,904E-08
Levene p-Wert	0,157		1,441E-03		0,099	
Prüfgröße (F)	1,202		1,093		1,034	
p-Wert F-Test	0,112		2,645E-08		0,343	
Kritischer F-Wert	1,281		1,027		1,149	
$F_{pr} < F_{kr}$	ja		nein		ja	
Ergebnis	H₀ annehmen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen	

Tabelle 0-83: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 4

Linker Fahrstreifen, freier Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	12,8	5,7	23,9	19,4	38,6	28,3
Varianz	102,110	156,976	142,064	125,015	169,709	156,224
Beobachtungen	32151	67	40592	6655	1094	208
Freiheitsgrade (df)	32150	66	40591	6654	1093	207
Shapiro p-Wert	0	3,010E-04	0	5,043E-42	5,561E-23	3,353E-07
Levene p-Wert	5,772E-02		3,507E-06		0,879	
Prüfgröße (F)	1,537		1,136		1,086	
p-Wert F-Test	3,349E-03		9,781E-12		0,230	
Kritischer F-Wert	1,301		1,031446645		1,200	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen	

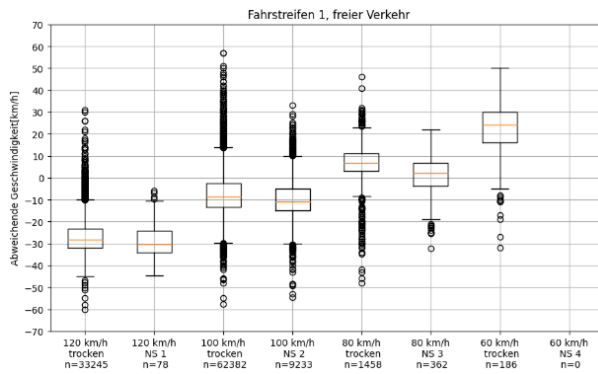


Abbildung 0-103: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 4

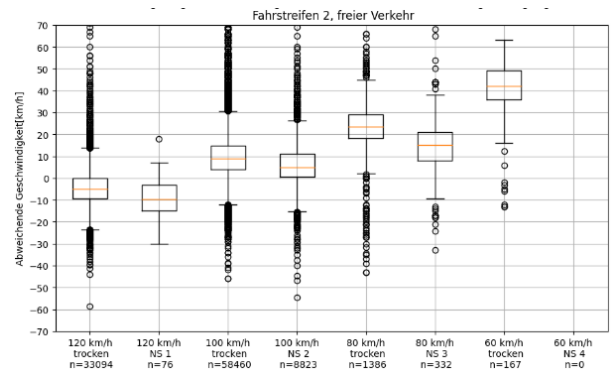


Abbildung 0-104: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den mittleren Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 4

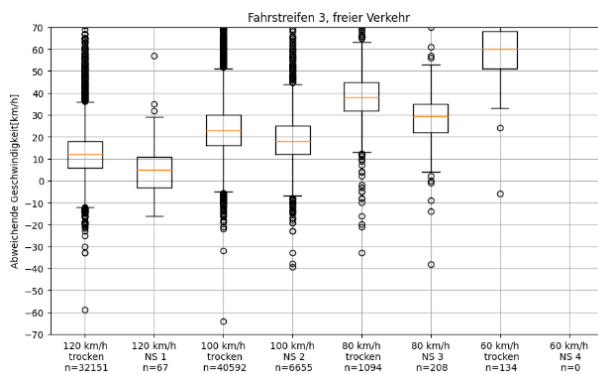


Abbildung 0-105: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 4

Tabelle 0-84: Statistische Auswertung für alle Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 4

Alle Fahrstreifen, dichter Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	rechter Fahrstreifen, A-Zeichen = 100 km/h		mittlerer Fahrstreifen, A-Zeichen = 100 km/h		linker Fahrstreifen, A-Zeichen = 100 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v _{diff}	-18,0	-21,6	-5,1	-9,7	6,4	3,2
Varianz	28,230	53,344	36,813	71,249	82,864	97,136
Beobachtungen	341	67	341	67	341	67
Freiheitsgrade (df)	340	66	340	66	340	66
Shapiro p-Wert	5,514E-10	2,283E-09	0,064	1,487E-07	1,077E-21	1,441E-06
Levene p-Wert	0,428		0,345		0,425	
Prüfgröße (F)	1,890		1,935		1,172	
p-Wert F-Test	1,468E-04		8,426E-05		0,187	
Kritischer F-Wert	1,341		1,341		1,341	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen	

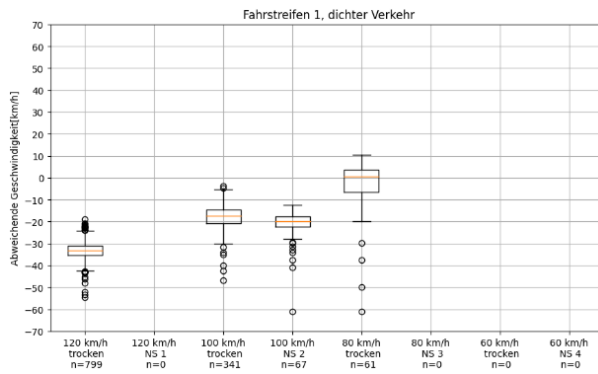


Abbildung 0-106: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 4

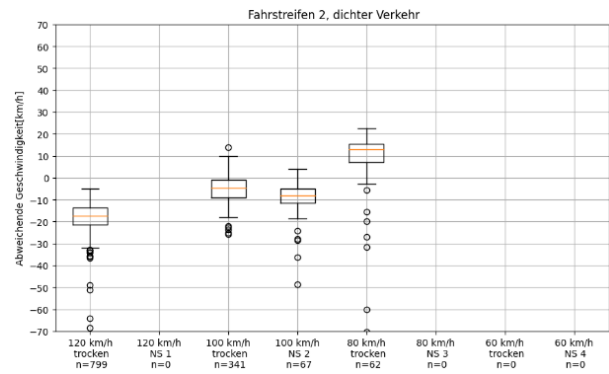


Abbildung 0-107: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den mittleren Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 4

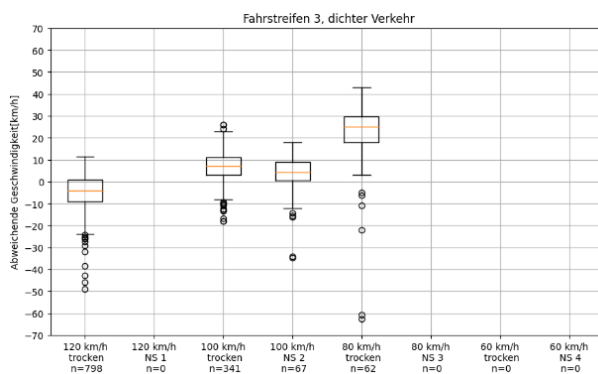


Abbildung 0-108: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 4

MQ-Gruppe 5

Tabelle 0-85: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 5

Rechter Fahrstreifen, freier Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-10,2	-12,8	2,0	0,1	14,5	12,7
Varianz	159,062	160,065	116,143	117,541	83,887	101,988
Beobachtungen	2392243	24801	71809	35889	4651	7338
Freiheitsgrade (df)	2392242	24800	71808	35888	4650	7337
Shapiro p-Wert	0	4,50E-31	0	5,61E-45	7,21E-18	1,96E-35
Levene p-Wert	1,863E-02		8,505E-01		6,155E-03	
Prüfgröße (F)	1,006		1,012		1,216	
p-Wert F-Test	2,526E-01		9,567E-02		1,275E-13	
Kritischer F-Wert	1,015		1,015		1,045	
$F_{pr} < F_{kr}$	ja		ja		nein	
Ergebnis	H₀ annehmen		H₀ annehmen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-86: Statistische Auswertung für den mittleren Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 5

Mittlerer Fahrstreifen, freier Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	8,2	4,9	18,2	15,7	31,5	27,7
Varianz	108,565	122,912	123,934	143,740	112,747	134,611
Beobachtungen	2044904	21901	63947	31827	4106	6319
Freiheitsgrade (df)	2044903	21900	63946	31826	4105	6318
Shapiro p-Wert	0	0	0		3,51E-13	1,38E-40
Levene p-Wert	4,282E-60		1,848E-04		4,010E-01	
Prüfgröße (F)	1,132		1,16		1,194	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,110E-16		2,666E-10	
Kritischer F-Wert	1,016		1,016		1,048	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-87: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 5

Linker Fahrstreifen, freier Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	22,5	19,0	32,7	29,1	48,4	43,2
Varianz	129,978	151,591	140,458	126,199	143,856	159,389
Beobachtungen	1479877	14743	47123	22761	2913	4740
Freiheitsgrade (df)	1479876	14742	47122	22760	2912	4739
Shapiro p-Wert	0	0	0	0	7,41E-18	2,43E-20
Levene p-Wert	3,151E-32		1,660E-09		5,698E-02	
Prüfgröße (F)	1,166		1,113		1,108	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,110E-16		1,093E-03	
Kritischer F-Wert	1,019		1,019		1,057	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

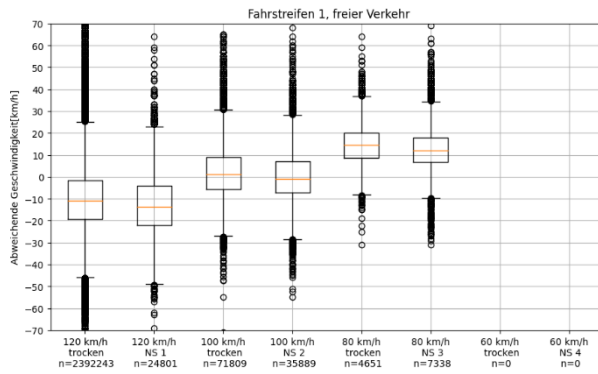


Abbildung 0-109: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 5

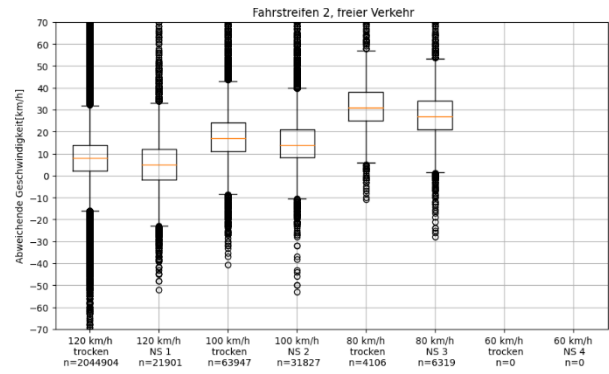


Abbildung 0-110: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den mittleren Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 5

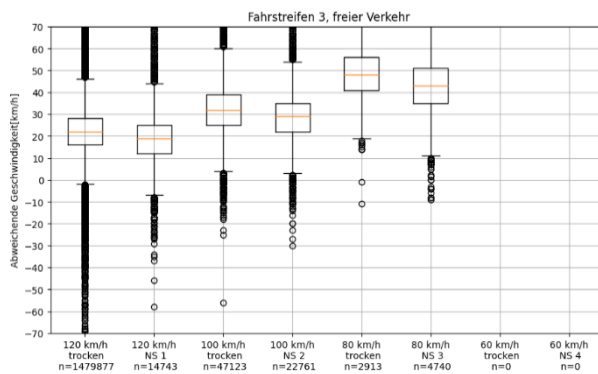


Abbildung 0-111: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 5

Tabelle 0-88: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 5

Rechter Fahrstreifen, dichter Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-32,7	-40,0	-18,9	-21,6	-4,0	-2,9
Varianz	78,501	135,983	94,265	99,815	83,764	76,204
Beobachtungen	23275	216	1861	744	107	271
Freiheitsgrade (df)	23274	215	1860	743	106	270
Shapiro p-Wert	0	4,07E-08	5,17886E-21	2,24E-07	8,74E-01	0,005082684
Levene p-Wert	2,395E-06		1,831E-01		5,609E-01	
Prüfgröße (F)	1,732		1,059		1,099	
p-Wert F-Test	1,977E-10		1,720E-01		2,713E-01	
Kritischer F-Wert	1,164		1,105		1,294	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		ja		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ annehmen		H₀ annehmen	

Tabelle 0-89: Statistische Auswertung für den mittleren Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 5

Mittlerer Fahrstreifen, dichter Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-7,8	-17,8	2,9	-1,4	12,7	13,5
Varianz	46,653	132,495	60,516	61,066	64,886	50,059
Beobachtungen	23278	216	1873	744	107	271
Freiheitsgrade (df)	23277	215	1872	743	106	270
Shapiro p-Wert	0	1,43E-15	1,02404E-21	1,61E-15	3,79E-01	4,33E-07
Levene p-Wert	4,355E-14		4,752E-01		1,045E-01	
Prüfgröße (F)	2,84		1,009		1,296	
p-Wert F-Test	1,110E-16		4,384E-01		4,952E-02	
Kritischer F-Wert	1,164		1,105		1,294	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		ja		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ annehmen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-90: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 5

Linker Fahrstreifen, dichter Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	7,9	-0,6	18,4	14,3	28,4	29,7
Varianz	53,363	150,332	74,058	70,314	112,937	72,193
Beobachtungen	23277	216	1874	744	107	271
Freiheitsgrade (df)	23276	215	1873	743	106	270
Shapiro p-Wert	0	6,38E-16	2,05231E-26	1,08E-14	1,55E-03	1,53E-06
Levene p-Wert	5,689E-10		3,847E-01		4,022E-02	
Prüfgröße (F)	2,817		1,053		1,564	
p-Wert F-Test	1,110E-16		2,032E-01		2,113E-03	
Kritischer F-Wert	1,164		1,108		1,294	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		ja		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ annehmen		H₀ verwerfen	

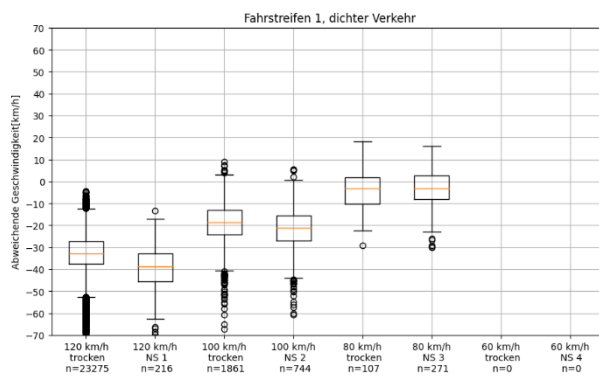


Abbildung 0-112: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 5

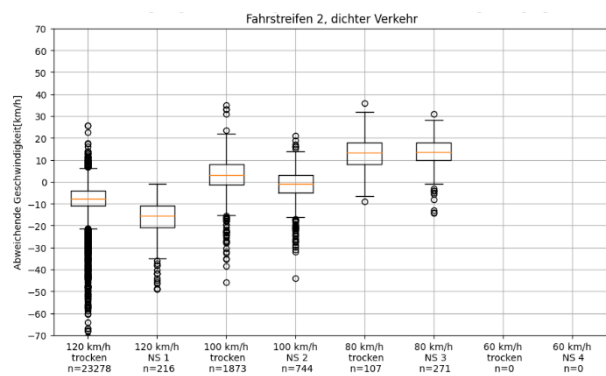


Abbildung 0-113: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den mittleren Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 5

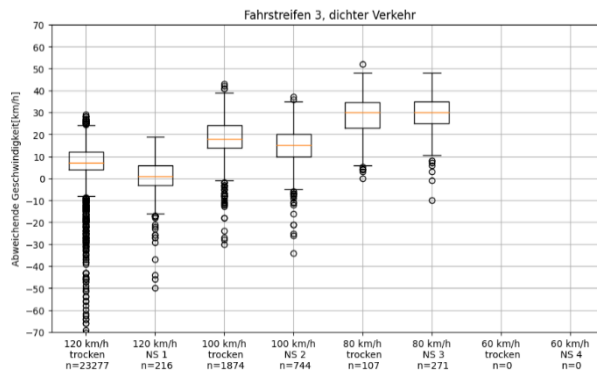


Abbildung 0-114: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 5

MQ-Gruppe 6

Tabelle 0-91: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 6

Rechter Fahrstreifen, freier Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-25,1	-31,1	-12,9	-16,9	8,9	0,6
Varianz	47,270	102,957	29,279	103,680	53,884	80,623
Beobachtungen	462772	30355	6188	3901	483	9802
Freiheitsgrade (df)	462771	30354	6187	3900	482	9801
Shapiro p-Wert	0	0	3,885E-39	0	1,290E-14	0
Levene p-Wert	0		2,064E-136		2,997E-02	
Prüfgröße (F)	2,178		3,541		1,496	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		4,99E-09	
Kritischer F-Wert	1,014		1,049		1,118	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-92: Statistische Auswertung für den mittleren Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 6

Mittlerer Fahrstreifen, freier Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-17,8	-16,3	-0,3	-3,5	16,3	10,2
Varianz	43,454	128,719	58,035	102,313	83,774	94,033
Beobachtungen	463307	29433	6190	3833	482	9505
Freiheitsgrade (df)	463306	29432	6189	3832	481	9504
Shapiro p-Wert	0,000E+00	4,012E-39	4,693E-33	1,418E-26	3,243E-05	0
Levene p-Wert	0		2,573E-37		3,262E-01	
Prüfgröße (F)	2,962		1,763		1,122	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		4,53E-02	
Kritischer F-Wert	1,014		1,049		1,118	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-93: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 6

Linker Fahrstreifen, freier Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau					
	0,95					
	Std. H _{ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-5,5	-10,3	7,1	0,3	29,0	15,8
Varianz	66,224	161,983	57,805	203,483	128,380	189,795
Beobachtungen	419811	21458	5915	3034	438	7234
Freiheitsgrade (df)	419810	21457	5914	3033	437	7233
Shapiro p-Wert	0	0	1,117E-36	0	2,617E-04	0
Levene p-Wert	0		4,598E-67		5,520E-01	
Prüfgröße (F)	2,446		3,520		1,478	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		6,53E-08	
Kritischer F-Wert	1,016		1,053		1,125	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

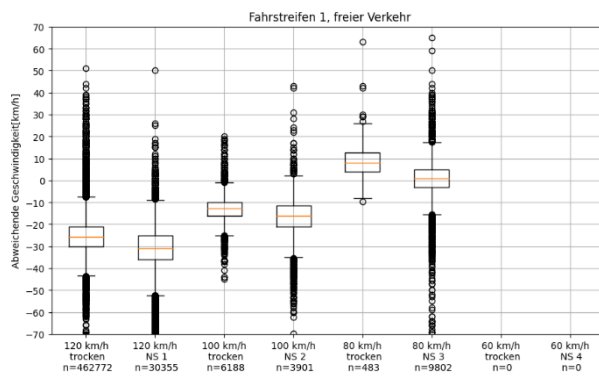


Abbildung 0-115: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 6

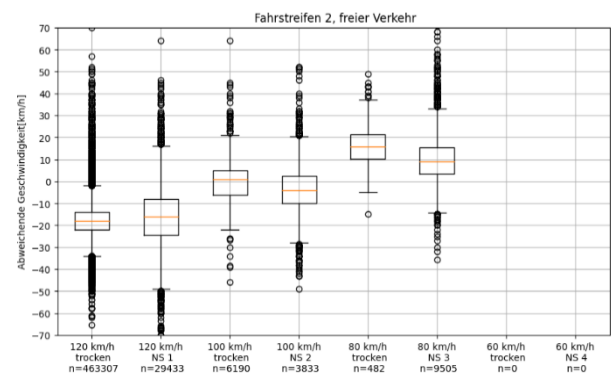


Abbildung 0-116: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den mittleren Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 6

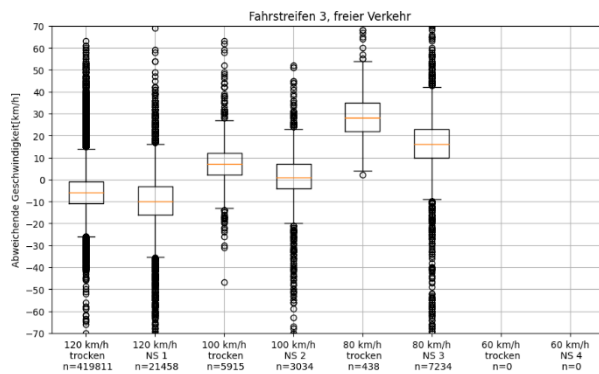


Abbildung 0-117: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 6

Tabelle 0-94: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 6

Rechter Fahrstreifen, dichter Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-34,2	-40,0	-16,1	-22,1	-1,6	-5,9
Varianz	21,509	86,247	16,285	43,091	18,048	58,586
Beobachtungen	9179	704	19613	1210	2328	1643
Freiheitsgrade (df)	9178	703	19612	1209	2327	1642
Shapiro p-Wert	0	6,766E-29	0	1,149E-29	5,569E-33	5,785E-40
Levene p-Wert	4,243E-65		1,006E-70		5,087E-39	
Prüfgröße (F)	4,010		2,646		3,246	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,11E-16	
Kritischer F-Wert	1,093		1,070		1,078	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-95: Statistische Auswertung für den mittleren Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 6

Mittlerer Fahrstreifen, dichter Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-26,2	-30,1	-7,8	-12,2	5,0	1,2
Varianz	62,906	76,114	55,495	48,816	43,156	39,037
Beobachtungen	9182	703	19613	1210	2328	1642
Freiheitsgrade (df)	9181	702	19612	1209	2327	1641
Shapiro p-Wert	3,852E-40	7,797E-11	0	1,902E-09	6,662E-14	7,127E-12
Levene p-Wert	6,117E-03		3,222E-09		5,421E-04	
Prüfgröße (F)	1,210		1,137		1,106	
p-Wert F-Test	1,90E-04		1,38E-03		1,39E-02	
Kritischer F-Wert	1,093		1,073		1,078	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-96: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 6

Linker Fahrstreifen, dichter Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-17,1	-25,3	-1,6	-9,1	9,8	5,1
Varianz	53,288	128,389	48,312	68,732	49,173	66,393
Beobachtungen	9170	704	19612	1210	2322	1643
Freiheitsgrade (df)	9169	703	19611	1209	2321	1642
Shapiro p-Wert	4,048E-42	4,721E-28	7,909E-39	2,425E-29	1,264E-23	3,298E-36
Levene p-Wert	6,222E-18		1,200E-01		2,139E-01	
Prüfgröße (F)	2,409		1,423		1,350	
p-Wert F-Test	1,11E-16		1,11E-16		1,71E-11	
Kritischer F-Wert	1,093		1,070		1,078	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

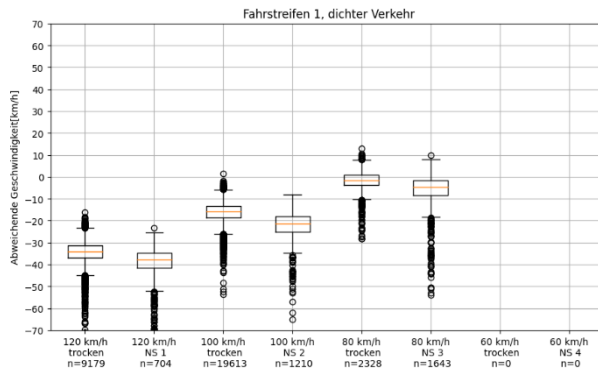


Abbildung 0-118: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 6

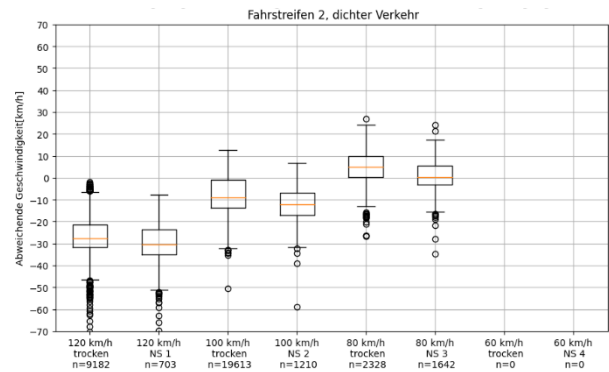


Abbildung 0-119: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den mittleren Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 6

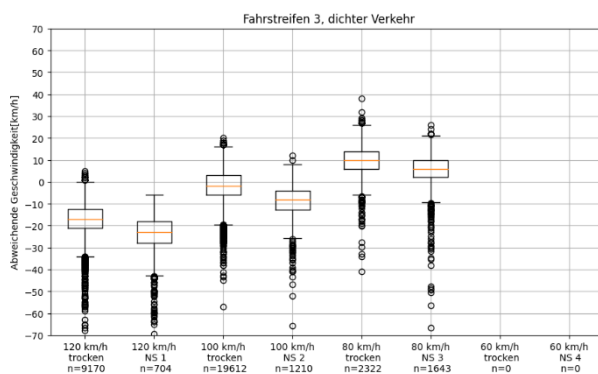


Abbildung 0-120: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 6

MQ-Gruppe 7

Tabelle 0-97: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 7

Zwei-Stichproben F-Test	Rechter Fahrstreifen, freier Verkehrszustand					
	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau				0,95	
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-12,7	-26,0	-8,5	-13,3	6,4	0,8
Varianz	99,900	123,204	45,698	95,455	84,126	129,190
Beobachtungen	454910	18273	60180	9829	257	8767
Freiheitsgrade (df)	454909	18272	60179	9828	256	8766
Shapiro p-Wert	0	0	0	0	4,298E-15	0
Levene p-Wert	1,199E-49		3,747E-304		1,441E-04	
Prüfgröße (F)	1,233		2,089		1,536	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,110E-16		4,232E-06	
Kritischer F-Wert	1,018		1,025		1,166	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-98: Statistische Auswertung für den mittleren Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 7

Mittlerer Fahrstreifen, freier Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-0,8	-15,0	0,1	-5,0	13,6	9,2
Varianz	100,125	142,439	65,857	110,665	155,982	142,439
Beobachtungen	448450	13157	54281	8036	258	6863
Freiheitsgrade (df)	448449	13156	54280	8035	257	6862
Shapiro p-Wert	0	0	0	5,715E-38	3,787E-14	0
Levene p-Wert	1,261E-140		1,842E-183		6,839E-01	
Prüfgröße (F)	1,423		1,680		1,095	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,110E-16		1,464E-01	
Kritischer F-Wert	1,021		1,028		1,152	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-99: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 7

Linker Fahrstreifen, freier Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	16,6	-4,0	12,6	4,0	26,4	17,0
Varianz	182,256	235,981	87,640	242,167	185,465	378,981
Beobachtungen	394303	11919	57867	7375	238	5658
Freiheitsgrade (df)	394302	11918	57866	7374	237	5657
Shapiro p-Wert	0	0	0	0	2,363E-12	1,976E-43
Levene p-Wert	1,43E-21		0		2,373E-06	
Prüfgröße (F)	1,295		2,763		2,043	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,110E-16		4,256E-12	
Kritischer F-Wert	1,022		1,029		1,174	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

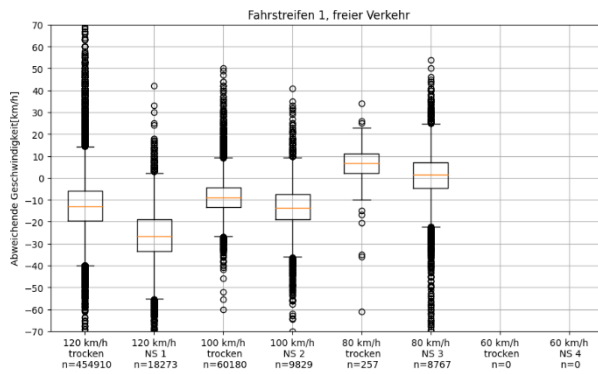


Abbildung 0-121: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 7

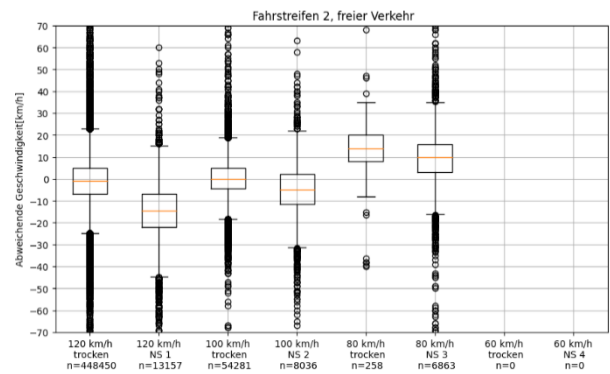


Abbildung 0-122: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den mittleren Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 7

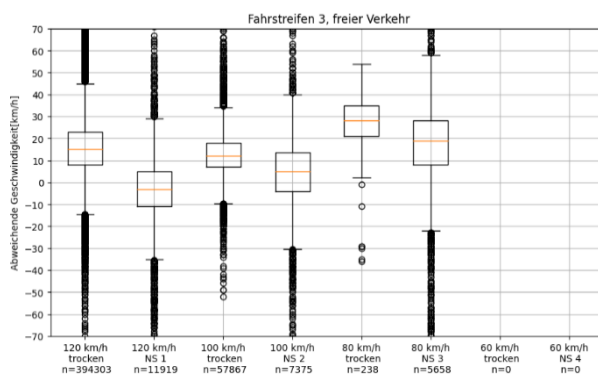


Abbildung 0-123: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 7

Tabelle 0-100: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 7

Rechter Fahrstreifen, dichter Verkehrszustand							
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h		Signifikanzniveau 0,95
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	
Mittelwert v_{diff}	-30,7	-44,3	-13,6	-22,1	-0,5	-12,1	
Varianz	62,129	203,728	25,085	64,470	205,699	144,174	
Beobachtungen	4238	99	19965	811	297	555	
Freiheitsgrade (df)	4237	98	19964	810	296	554	
Shapiro p-Wert	0	3,658E-08	0	3,212E-19	1,622E-20	2,356E-17	
Levene p-Wert	1,939E-14		1,150E-57		8,480E-01		
Prüfgröße (F)	3,279		2,570		1,427		
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,110E-16		1,887E-04		
Kritischer F-Wert	1,249		1,085		1,179		
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein		
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		

Tabelle 0-101: Statistische Auswertung für den mittleren Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 7

Mittlerer Fahrstreifen, dichter Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-21,2	-34,4	-6,5	-16,1	5,3	-6,3
Varianz	88,343	192,838	37,991	108,796	166,879	127,559
Beobachtungen	4237	93	19945	810	298	554
Freiheitsgrade (df)	4236	92	19944	809	297	553
Shapiro p-Wert	9,809E-45	2,966E-08	8,408E-45	2,643E-26	4,182E-11	6,991E-15
Levene p-Wert	7,060E-04		6,994E-50		3,857E-02	
Prüfgröße (F)	2,183		2,864		1,308	
p-Wert F-Test	8,962E-10		1,110E-16		3,681E-03	
Kritischer F-Wert	1,257		1,085		1,179	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-102: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 7

Linker Fahrstreifen, dichter Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-6,6	-27,8	4,1	-7,7	15,1	-1,6
Varianz	140,877	446,319	60,975	162,539	257,802	265,974
Beobachtungen	4234	99	19954	811	298	556
Freiheitsgrade (df)	4233	98	19953	810	297	555
Shapiro p-Wert	0	3,441E-06	4,028E-39	1,706E-17	4,549E-14	1,010E-08
Levene p-Wert	1,528E-15		1,156E-69		7,354E-02	
Prüfgröße (F)	3,168		2,666		1,032	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,110E-16		3,825E-01	
Kritischer F-Wert	1,249		1,085		1,185	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen	

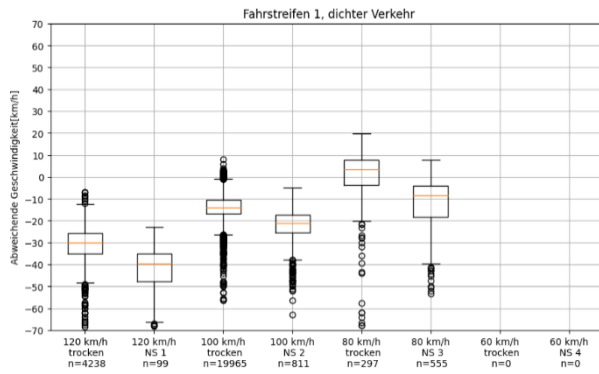


Abbildung 0-124: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 7

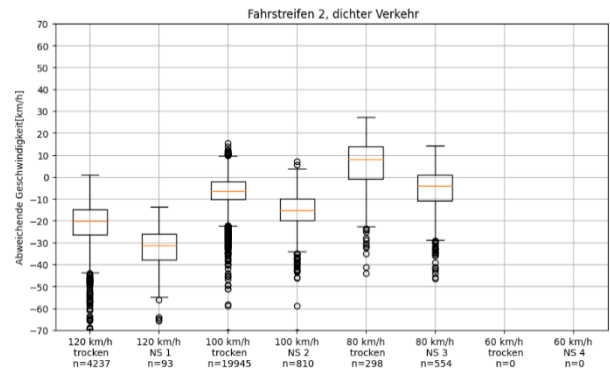


Abbildung 0-125: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den mittleren Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 7

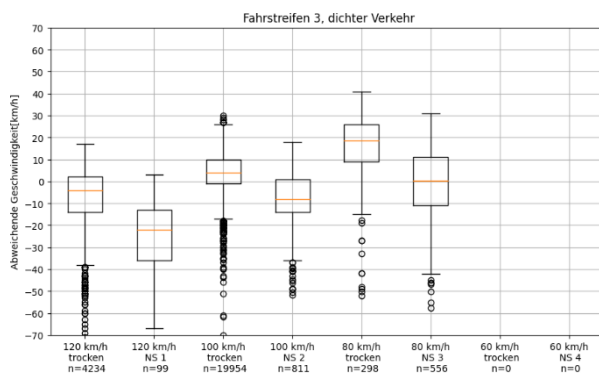


Abbildung 0-126: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 7

MQ-Gruppe 8

Tabelle 0-103: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 8

Rechter Fahrstreifen, freier Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau				0,95	
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert V_{diff}	-4,2	-17,8	6,8	1,0	11,8	13,9
Varianz	179,833	158,581	112,566	130,900	198,700	133,618
Beobachtungen	589607	21910	35658	14502	1702	2504
Freiheitsgrade (df)	589606	21909	35657	14501	1701	2503
Shapiro p-Wert	0	0	0	2,474E-32	1,727E-09	1,289E-26
Levene p-Wert	3,606E-56		1,196E-21		3,556E-27	
Prüfgröße (F)	1,134		1,163		1,487	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,110E-16		1,110E-16	
Kritischer F-Wert	1,016		1,023		1,076	
$F_{pr} < \overline{F}_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H ₀ verwerfen		H ₀ verwerfen		H ₀ verwerfen	

Tabelle 0-104: Statistische Auswertung für den mittleren Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 8

Mittlerer Fahrstreifen, freier Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	29,6	23,3	14,5	-1,8	24,6	14,6
Varianz	190,979	84,177	101,726	150,140	121,469	157,763
Beobachtungen	152	277	512777	20342	33352	13018
Freiheitsgrade (df)	151	276	512776	20341	33351	13017
Shapiro p-Wert	7,353E-01	7,304E-03	0	2,803E-43	0	2,711E-39
Levene p-Wert	3,210E-08		0		1,399E-89	
Prüfgröße (F)	2,269		1,476		1,299	
p-Wert F-Test	1,972E-09		1,110E-16		1,110E-16	
Kritischer F-Wert	1,260		1,017		1,024	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-105: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 8

Linker Fahrstreifen, freier Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	24,2	6,4	36,2	21,3	32,7	35,8
Varianz	155,473	161,925	177,232	234,691	772,693	378,215
Beobachtungen	281235	13080	24114	7584	669	1067
Freiheitsgrade (df)	281234	13079	24113	7583	668	1066
Shapiro p-Wert	0	0	0	1,158E-25	3,206E-15	6,372E-10
Levene p-Wert	7,491E-15		4,922E-76		2,733E-14	
Prüfgröße (F)	1,041		1,324		2,043	
p-Wert F-Test	6,879E-04		1,110E-16		1,110E-16	
Kritischer F-Wert	1,021		1,031		1,121	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

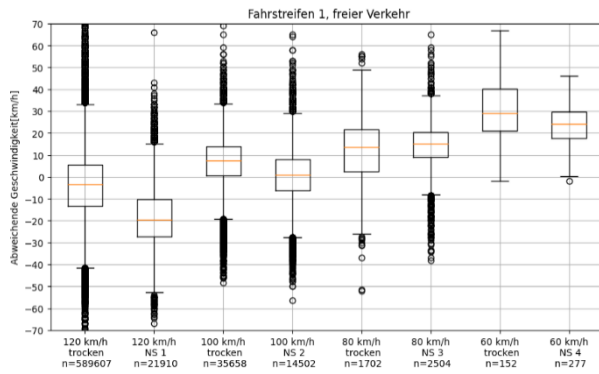


Abbildung 0-127: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 8

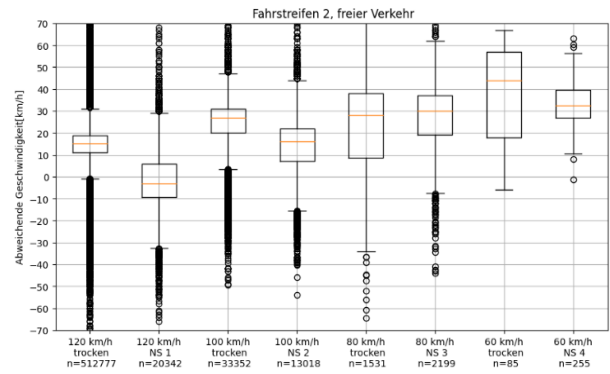


Abbildung 0-128: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den mittleren Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 8

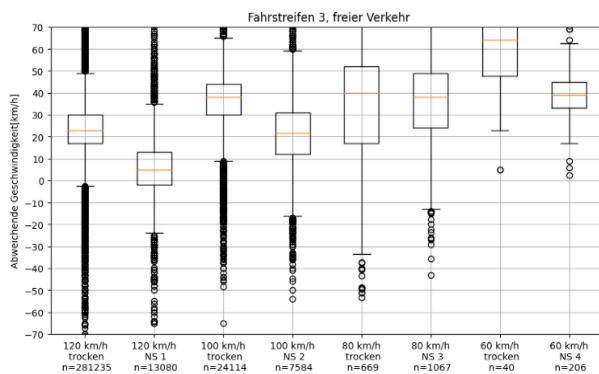


Abbildung 0-129: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 8

Tabelle 0-106: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 8

Rechter Fahrstreifen, dichter Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert V_{diff}	23,2	27,6	37,4	32,9	-36,6	-27,9
Varianz	402,635	230,993	465,989	97,980	277,139	8,257
Beobachtungen	1531	2199	85	255	54	12
Freiheitsgrade (df)	1530	2198	84	254	53	11
Shapiro p-Wert	1,064E-16	1,061E-22	4,550E-05	7,038E-01	4,241E-07	8,105E-01
Levene p-Wert	8,734E-38		9,400E-28		4,295E-02	
Prüfgröße (F)	1,743		4,756		33,565	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,110E-16		2,183E-07	
Kritischer F-Wert	1,080		1,323		2,394	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-107: Statistische Auswertung für den mittleren Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 8

Mittlerer Fahrstreifen, dichter Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-30,2	-26,4	-30,3	-21,0	-23,7	-23,6
Varianz	190,372	226,193	552,635	22,357	303,716	382,086
Beobachtungen	26	30	54	12	26	30
Freiheitsgrade (df)	25	29	53	11	25	29
Shapiro p-Wert	8,380E-01	5,547E-02	1,018E-06	3,382E-01	7,232E-01	4,076E-02
Levene p-Wert	2,375E-01		2,275E-02		5,158E-01	
Prüfgröße (F)	1,188		24,718		1,258	
p-Wert F-Test	3,331E-01		1,107E-06		2,819E-01	
Kritischer F-Wert	1,901		2,394		1,901	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-108: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 8

Linker Fahrstreifen, dichter Verkehrszustand						
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95					
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	62,1	39,1	-25,4	-14,9	-19,7	-14,2
Varianz	617,981	115,405	626,700	29,001	326,666	237,279
Beobachtungen	40	206	54	12	26	30
Freiheitsgrade (df)	39	205	53	11	25	29
Shapiro p-Wert	3,682E-01	4,816E-03	1,682E-06	9,342E-01	6,340E-01	2,874E-01
Levene p-Wert	1,181E-09		1,409E-02		3,071E-01	
Prüfgröße (F)	5,355		21,61		1,377	
p-Wert F-Test	6,661E-16		2,245E-06		2,026E-01	
Kritischer F-Wert	1,453		2,394		1,870	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		nein		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen	

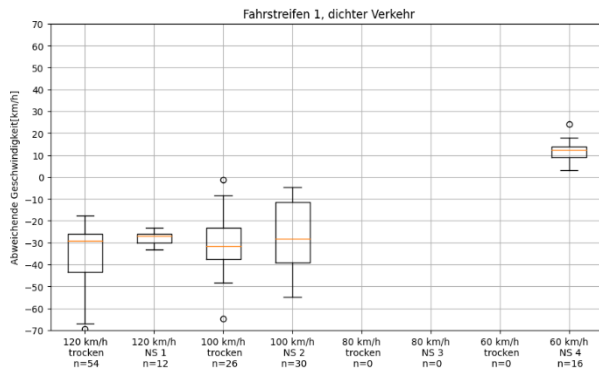


Abbildung 0-130: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 8

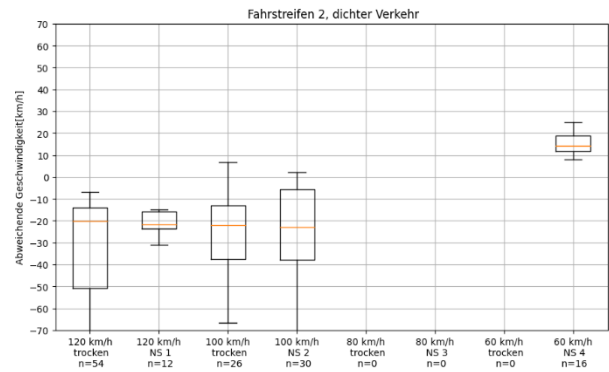


Abbildung 0-131: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den mittleren Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 8

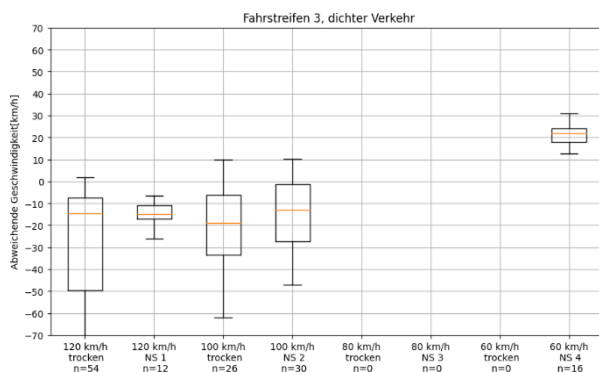


Abbildung 0-132: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 8

MQ-Gruppe 9

Tabelle 0-109: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 9

Zwei-Stichproben F-Test	Rechter Fahrstreifen, freier Verkehrszustand							
	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h		A-Zeichen = 60 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95							
	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-25,3	-29,7	-9,9	-12,0	3,1	1,4	24,4	6,9
Varianz	111,705	78,449	84,691	77,026	54,897	68,390	51,695	67,389
Beobachtungen	1324289	3023	97167	27332	1609	2009	161	15
Freiheitsgrade (df)	1324288	3022	97166	27331	1608	2008	160	14
Shapiro p-Wert	0	2,219E-32	0	2,134E-42	7,619E-16	3,559E-20	5,480E-03	5,468E-01
Levene p-Wert	8,088E-50		2,444E-25		3,172E-03		3,855E-01	
Prüfgröße (F)	1,424		1,100		1,246		1,304	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,110E-16		1,904E-06		2,102E-01	
Kritischer F-Wert	1,044		1,016		1,081		1,729	
$F_{Pr} < F_{Kr}$	nein		nein		nein		ja	
Ergebnis	H ₀ verwerfen		H ₀ verwerfen		H ₀ verwerfen		H ₀ annehmen	

Tabelle 0-110: Statistische Auswertung für den mittleren Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 9

Mittlerer Fahrstreifen, freier Verkehrszustand								
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h		A-Zeichen = 60 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95							
	Std. H _{ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v_{diff}	-3,7	-9,5	7,7	4,7	19,6	15,0	40,8	14,2
Varianz	107,603	77,152	90,663	91,468	110,053	130,595	87,149	76,066
Beobachtungen	1235304	2886	90564	25623	1574	1916	162	13
Freiheitsgrade (df)	1235303	2885	90563	25622	1573	1915	161	12
Shapiro p-Wert	0	2,245E-22	0	0	1,560E-20	5,208E-14	3,826E-04	2,050E-01
Levene p-Wert	1,119E-09		4,921E-05		4,788E-05		9,157E-01	
Prüfgröße (F)	1,395		1,009		1,187		1,146	
p-Wert F-Test	1,110E-16		1,846E-01		1,940E-04		4,240E-01	
Kritischer F-Wert	1,045		1,017		1,083		2,241	
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		ja		nein		ja	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ annehmen		H₀ verwerfen		H₀ annehmen	

Tabelle 0-111: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 9

Linker Fahrstreifen, freier Verkehrszustand							
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 120 km/h		A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h		Signifikanzniveau 0,95
	Std. H _{ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{ref}	Std. H _{Ereignis}	
Mittelwert v_{diff}	11,7	6,3	21,7	17,9	35,3	28,4	
Varianz	178,330	130,807	143,884	141,593	145,541	222,753	
Beobachtungen	886846	2366	64412	18244	1349	1399	
Freiheitsgrade (df)	886845	2365	64411	18243	1348	1398	
Shapiro p-Wert	0	4,300E-32	0	0	1,740E-19	4,791E-10	
Levene p-Wert	2,886E-07		2,240E-02		3,541E-12		
Prüfgröße (F)	1,363		1,016		1,531		
p-Wert F-Test	1,110E-16		9,109E-02		2,109E-15		
Kritischer F-Wert	1,050		1,020		1,093		
$F_{pr} < F_{kr}$	nein		ja		nein		
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ annehmen		H₀ verwerfen		

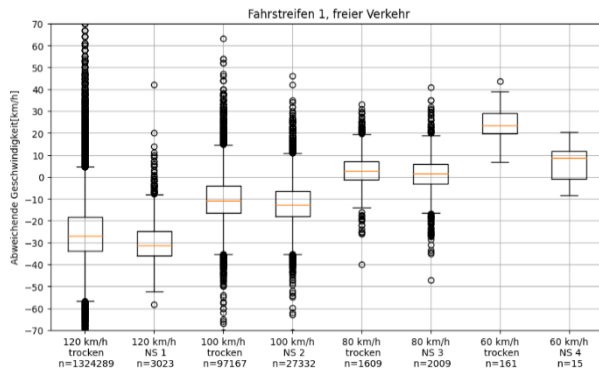


Abbildung 0-133: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 9

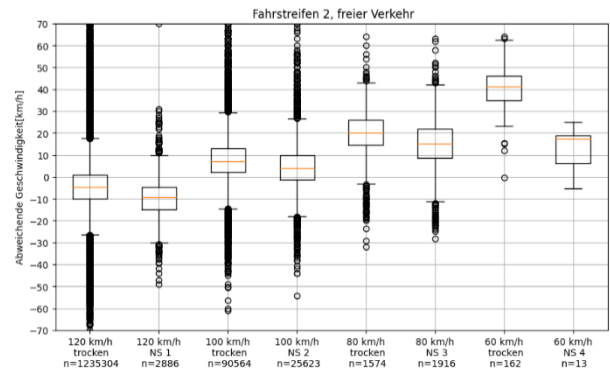


Abbildung 0-134: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den mittleren Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 9

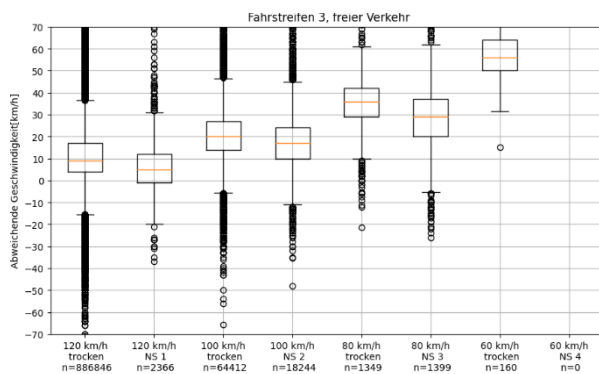


Abbildung 0-135: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen bei freiem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 9

Tabelle 0-112: Statistische Auswertung für den rechten Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 9

Rechter Fahrstreifen, dichter Verkehrszustand					
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h		Std. H _{Ereignis}
	Signifikanzniveau 0,95				
	Std. H _{ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{ref}	Std. H _{Ereignis}	
Mittelwert v _{differenz}	-20,5	-28,0	-5,9	-16,2	
Varianz	67,373	56,854	60,614	122,061	
Beobachtungen	460	82	91	59	
Freiheitsgrade (df)	459	81	90	58	
Shapiro p-Wert	6,378E-20	2,922E-04	5,274E-05	3,478E-02	
Levene p-Wert	9,120E-01		9,228E-03		
Prüfgröße (F)	1,185		2,014		
p-Wert F-Test	1,748E-01		1,384E-03		
Kritischer F-Wert	1,344		1,465		
F _{pr} < F _{kr}	ja		nein		
Ergebnis	H₀ annehmen		H₀ verwerfen		

Tabelle 0-113: Statistische Auswertung für den mittleren Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 9

Mittlerer Fahrstreifen, dichter Verkehrszustand				
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95			
	Std. H _{ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v _{diff}	-6,7	-13,6	-8,7	-10,3
Varianz	114,423	72,668	458,962	226,337
Beobachtungen	468	82	164	64
Freiheitsgrade (df)	467	81	163	63
Shapiro p-Wert	7,257E-26	1,881E-06	1,224E-06	4,627E-01
Levene p-Wert	5,742E-01		5,621E-05	
Prüfgröße (F)	1,575		2,028	
p-Wert F-Test	6,465E-03		8,394E-04	
Kritischer F-Wert	1,344		1,433	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

Tabelle 0-114: Statistische Auswertung für den linken Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand für These 1-11 für MQ-Gruppe 9

Linker Fahrstreifen, dichter Verkehrszustand				
Zwei-Stichproben F-Test	A-Zeichen = 100 km/h		A-Zeichen = 80 km/h	
	Signifikanzniveau 0,95			
	Std. H _{ref}	Std. H _{Ereignis}	Std. H _{Ref}	Std. H _{Ereignis}
Mittelwert v _{diff}	6,3	-0,6	0,8	0,1
Varianz	156,532	93,482	669,011	295,049
Beobachtungen	468	82	162	64
Freiheitsgrade (df)	467	81	161	63
Shapiro p-Wert	5,536E-26	5,234E-05	2,146E-06	4,998E-01
Levene p-Wert	6,399E-01		1,159E-04	
Prüfgröße (F)	1,674		2,267	
p-Wert F-Test	2,524E-03		1,581E-04	
Kritischer F-Wert	1,344		1,434	
F _{pr} < F _{kr}	nein		nein	
Ergebnis	H₀ verwerfen		H₀ verwerfen	

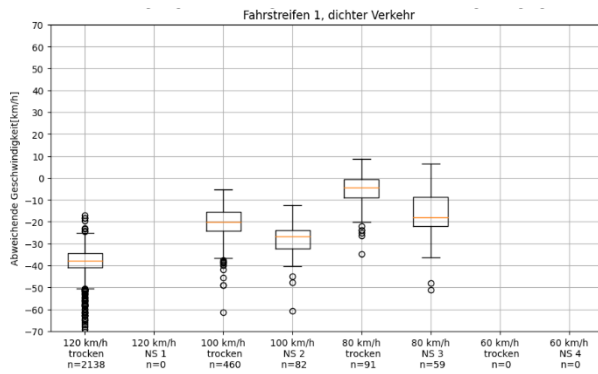


Abbildung 0-136: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den rechten Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 9

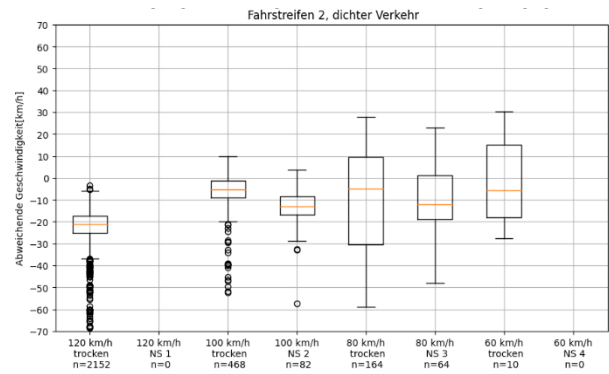


Abbildung 0-137: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den mittleren Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 9

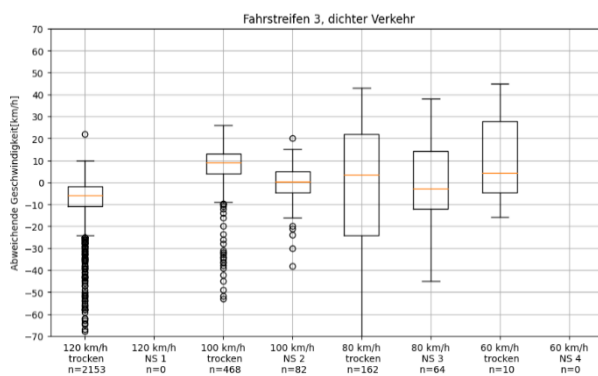


Abbildung 0-138: Boxplots der abweichenden Geschwindigkeiten zu geschalteten Geschwindigkeiten für unterschiedliche Nässestufen für den linken Fahrstreifen bei dichtem Verkehrszustand aus MQ-Gruppe 9