

Schlussbericht

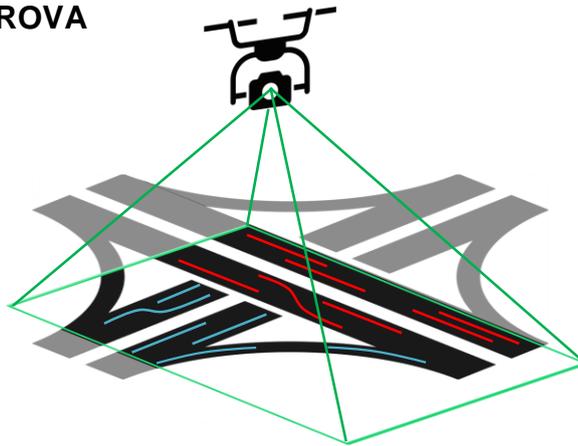
Modernitätsfonds / mFund

Angewandte Forschung und Experimentelle Entwicklung

Forschung für die Mobilität 4.0

Projektname: Entwicklung einer DROhnenbasierten VerkehrsAnalyse zur Optimierung der Nutzung bestehender Infrastruktur von BAB mit Evaluierung zur Eignung für ein Online-Verkehrsmonitoring

Akronym: DROVA



Ingenieurbüro für das Verkehrswesen
Inh. Dipl.-Ing. Thomas Gerlach
Vaalser Str. 84
52074 Aachen
Tel: +49-241-95789496
thomas.gerlach@getrasol.eu



Institut für Straßenwesen Aachen
Prof. Dr.-Ing. habil. Markus Oeser
Mies-van-der-Rohe-Str. 1
52074 Aachen
Tel: +49-241-80-25220
oeser@isac.rwth-aachen.de

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einführung	1
2 Ziel des Vorhabens	2
3 Methodik und technische Aspekte.....	4
3.1 Technische Innovation.....	4
3.2 Anwendungsspezifische Innovation	5
3.3 Mehrwert des Ansatzes	7
3.4 Zugriff auf vorhandene Datenbestände.....	7
4 Ergebnisse nach Arbeitspaketen.....	9
4.1 AP 1 – Anforderungsanalyse, Anwenderforderungen	9
4.2 AP 2 – Bildverarbeitung	23
4.2.1 AP 2.1 – Bildverarbeitung – Konzeption des Auswerte-Frameworks.....	23
4.2.2 AP 2.2 – Bildverarbeitung – Globale Kamerakalibrierung	24
4.2.3 AP 2.3 – Bildverarbeitung – Ableitung geeigneter Bildmerkmale.....	30
4.2.4 AP 2.4 – Bildverarbeitung – Detektions- und Trackingalgorithmen.....	31
4.2.5 AP 2.5 – Bildverarbeitung – Softwaretechnische Umsetzung.....	32
4.2.6 AP 2.6 – Bildverarbeitung – Validierung.....	32
4.3 AP 3 – Datenmanagement.....	33
4.3.1 AP 3.1 – Datenmanagement – Rohdaten, Vektordaten	33
4.3.2 AP 3.2 – Datenmanagement – Verkehrsdaten.....	33
4.3.3 AP 3.3 – Datenmanagement – Kartendaten	38
4.4 AP 4 – Demonstrator ZRA	43
4.4.1 AP 4.1 – Demonstrator ZRA – Grundlagenrecherche	43
4.4.2 AP 4.2 – Demonstrator ZRA – Auswahl von Anschlussstellen	46
4.4.3 AP 4.3 – Demonstrator ZRA – Verkehrsbeobachtung.....	47
4.4.4 AP 4.4 – Demonstrator ZRA – Aufbereitung von Videodaten.....	48
4.4.5 AP 4.5 – Demonstrator ZRA – Kriterien zur Bewertung	49
4.4.6 AP 4.6 – Demonstrator ZRA – Auswertung und Handlungsempfehlungen.....	49
4.5 AP 5 – Demonstrator Arbeitsstellen	51

4.5.1	AP 5.1 – Demonstrator Arbeitsstellen – Grundlagenrecherche	51
4.5.2	AP 5.2 – Demonstrator Arbeitsstellen – Auswahl Testfelder	63
4.5.3	AP 5.3 – Demonstrator Arbeitsstellen – Verkehrsbeobachtungen.....	67
4.5.4	AP 5.4 – Demonstrator Arbeitsstellen – Veredlung / Verschneidung.....	70
4.5.5	AP 5.5 – Demonstrator Arbeitsstellen – Kriterien zur Bewertung	70
4.5.6	AP 5.6 – Demonstrator Arbeitsstellen – Handlungsempfehlungen	72
4.6	AP 6 – Machbarkeitsstudie	73
4.6.1	AP 6.1 – Machbarkeitsstudie – Machbarkeit Onlinemonitoring	74
4.6.2	AP 6.2 – Machbarkeitsstudie – Machbarkeit Onlinesteuerung	78
4.7	AP 7 – Sicherstellung Datenschutz.....	81
4.8	AP 8 – Projektkoordination	82
5	Zusammenfassung und Ausblick.....	83
5.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	83
5.2	Erfolgsaussichten für die weitere Verwendung der Projektergebnisse	84
6	Quellenverzeichnis.....	86
7	Anhang	90
7.1	Datenschutz.....	90
7.1.1	Vorbetrachtung zum Datenschutz im Kontext von DROVA	90
7.2	Datensatzbeschreibungen	99
7.2.1	Datensatz Punktwolke AID Haan-Ost	99
7.3	Lageplanskizzen der Demonstratoren AID.....	102
8	Weitere Anlagen	105

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht der Arbeitspakete DROVA.....	1
Abbildung 2: Perspektive aus Drohnenflug [Sky-High-Views GbR, 2016].....	4
Abbildung 3: Konfliktsituation in Betrachtungsweise nach MDRAC [Kuang et al., 2015]	12
Abbildung 4: Abstand-Zeit-, Geschwindigkeit-Zeit- und Beschleunigung-Zeit-Diagramm, welche der Berechnung der DCIA zugrunde liegt.....	14
Abbildung 5: SD auf Basis zwei aufeinander folgender Fahrzeuge [Lee, 2015].....	15
Abbildung 6: Beurteilung von Fahrstreifenwechseln vor einer AkD [FGSV 386/1, 2019]	18
Abbildung 7: Einteilung AID in Untersuchungsabschnitte [Schnorbus, 2015]	19
Abbildung 8: Stabilisierung PipeLine [isac, 2018].....	25
Abbildung 9: Activity-Map des Drohnenvideos [isac, 2018]	26
Abbildung 10: Maskenbild des Straßenabschnittes [isac, 2018].....	26
Abbildung 11: Kalibrierungsinterface [isac, 2018].....	28
Abbildung 12: Punktwolke im Kalibrierungstool [isac, 2018].....	28
Abbildung 13: Delauney Triangulation der Straßenoberfläche [isac, 2018]	29
Abbildung 14: isac-GUI für die Auswertung von Schleifendaten.....	35
Abbildung 15: Projektion des Punktes P (Tie Point) durch zwei Perspektiven/ Kameras.....	39
Abbildung 16: Vergleich von Punktwolke und DOM [isac, 2019]	41
Abbildung 17: Fahrstreifenextraktion aus Punktwolke [isac, 2019].....	42
Abbildung 18: Musterdatensatz 3D-Fahrlinien von 16 Fahrzeugen A57 AS Dormagen.....	50
Abbildung 19: MindMap der Analysemethodik für die Demonstratoren ZRA	50
Abbildung 20: Schematische Darstellung der Sektionseinteilung einer AID [SCHNORBUS, 2015].....	53
Abbildung 21: Breitenreduzierung in AID [RSA, 1995] und resultierende Konflikte [www.ruhrnachrichten.de, 2013].....	56
Abbildung 22: Unfalltypen der Kat. 1-6 mit und ohne AS nach [TEUWSEN, 2015].....	58
Abbildung 23: Sicherheitsrisiko im System Straßenverkehr	62
Abbildung 24: Einrichtung von AID in NRW nach VF [eigene Darstellung]	64
Abbildung 25: Ermittlung relevanter AID in NRW [eigene Darstellung]	65
Abbildung 26: Mögliche Messzeiträume in Abhängigkeit der Tageszeit, Oktober 2018	68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Angefragte Schleifendaten bei Straßen.NRW [Stand: Juli 2019]	35
Tabelle 2: Relevante Flugzeiten.....	47
Tabelle 3: Einflussgrößen auf den Verkehrsablauf.....	52
Tabelle 4: Auswahl AID in NRW als Testfelder.....	66
Tabelle 5: Übersicht Demonstratoren AID	67
Tabelle 6: Tagesgruppe Montag, Typen A und B: Häufigkeitsverteilung der Maximalbelastungen nach Maximalstunde getrennt nach alten und neuen Bundesländern [Pinkofsky, P., 2005]	67
Tabelle 7: Übersicht der durchgeführten Messungen für Demonstratoren AID	69

Abkürzungsverzeichnis

AS	Anschlussstelle
ASR	Technische Regeln für Arbeitsstätten (Arbeitsstättenregeln)
AkD/ AID	Arbeitsstelle kürzerer/ längerer Dauer
AP	Arbeitspaket
DB	Datenbank
DCIA	Deceleration Rate to Avoid Crash using Constant Initial Acceleration
DRAC	Deceleration Rate to Avoid Crash
DROVA	Entwicklung einer DRO hnenbasierten V erkehrs- A nalyse zur Optimierung der Nutzung bestehender Infrastruktur von BAB mit Evaluierung zur Eignung für ein Online-Verkehrsmonitoring
Exif	Exchangeable Image File Format, Standardformat für das Abspeichern von Metadaten in digitalen Bildern
FS	Fahrstreifen
HFB	Hauptfahrbahn
HFS	Hauptfahrstreifen
isac	Institut für Straßenwesen, RWTH Aachen University
LOI	Letter of Intent
MADR	Maximum Available Deceleration Rate
MQ	Messquerschnitt
SD	Stopping Distance
Straßen.NRW	Landesbetrieb Straßenbau NRW
TTC	Time-to-Collision
UKR	Unfallkostenrate
UMT	Universal Transverse Mercator
UR	Unfallrate
ÜFS/UEHFS	Überholfahrstreifen
NRW	Nordrhein-Westfalen
VF	Verkehrsführung
ZRA	Zuflussregelungsanlage

1 Einführung

Eine Nutzenoptimierung der bestehenden Verkehrsinfrastruktur ist aufgrund stetig wachsender Verkehrsmengen sowie der steigenden privaten wie gewerblichen Mobilitätsbedürfnisse unabdingbar. Hierbei sind hochgenaue, flächenbezogene, mikroskopische Verkehrsdaten, welche die Interaktion von Einzelfahrzeugen mit der Infrastruktur (Vehicle-to-Infrastructure: V2I) sowie der Fahrzeuge untereinander (Vehicle-to-Vehicle: V2V) beschreiben, zur qualifizierten Analyse notwendig. Des Weiteren hängt die Umsetzbarkeit vieler Nutzenoptimierungen von einer schnellen und kosteneffizienten Verkehrsdatenerhebung und -analyse ab. Diese Art von Verkehrsdatenermittlung zur gezielten Verbesserung der Mobilitätsqualität im Fernstraßennetz ist nach dem Stand der Technik nicht verfügbar.

Ausgehend von der vorstehend beschriebenen Motivation hatten die Konsortialpartner isac und GETRASOL unterstützt durch den assoziierten Projektpartner Landesbetrieb Straßenbau NRW (seit 01.01.2021 Die Autobahn GmbH des Bundes) das Projekt DROVA im Rahmen des mFUND-Programmes initiiert.

Der vorliegende Schlussbericht ist das Arbeitsergebnis folgender hier im Überblick dargestellten Arbeitspakete, die in Kooperation von isac und GETRASOL bearbeitet wurden:

AP 1 - Anforderungsanalyse
AP 2 - Bildverarbeitung
AP 2.1 - Framework-Konzept
AP 2.2 - Kamera-Kalibrierung
AP 2.3 - Ableitung Bildmerkmale
AP 2.4 - Detektion und Tracking
AP 2.5 - Softwaretechnische Umsetzung
AP 2.6 - Validierung
AP 3- Datenmanagement
AP 3.1 - Vektordaten
AP 3.2 - Verkehrsdaten
AP 3.3 - Kartendaten
AP 4 - Zuflussregelungsanlagen (ZRA)
AP 4.1 - Grundlagenrecherche
AP 4.2 - Auswahl Anschlussstellen
AP 4.3 - Planung & Durchführung
AP 4.4 - Aufbereitung Videodaten
AP 4.5 - Kriterienfestlegung
AP 4.6 - Auswertung u. Handlungsempf.
AP 5 - Arbeitsstellen längerer Dauer (AID)
AP 5.1 - Grundlagenrecherche
AP 5.2 - Auswahl Testfeld
AP 5.3 - Planung & Durchführung
AP 5.4 - Digitale Verschneidung
AP 5.5 - Kriterienfestlegung
AP 5.6 - Handlungsempfehlungen
AP 6 - Machbarkeitsstudie
AP 6.1 - Online-Monitoring
AP 6.2 - Online-Steuerung
AP 7 - Datenschutz
AP 8 - Projektkoordination

Abbildung 1: Übersicht der Arbeitspakete DROVA

2 Ziel des Vorhabens

Das Ziel des Forschungsprojektes DROVA besteht unter Einbindung von drohnenbasierten Videoaufnahmen in der Entwicklung automatisierter, bildverarbeitender Analysemethoden und der Ableitung mikroskopischer Verkehrsdaten. Anhand zweier ausgewählter Anwendungen werden Methoden entwickelt und als funktionsfähige Prototypen umgesetzt, die in einem verkehrstechnisch funktional zusammenhängenden Bereich der Autobahn eine vollständige Erhebung und Analyse der Interaktion von Einzelfahrzeugen zulassen. Dabei werden exemplarisch für den Bereich der Verkehrstelematik ZRA an hochbelasteten Einfahrten sowie als Sonderfall der temporären Verkehrsführung Arbeitsstellen längerer Dauer (AID) fokussiert. Auf Grundlage der Ergebnisse und Erfahrungen aus der Anwendung der zu entwickelnden Methodik an den neuralgischen Punkten im Streckennetz ist anschließend die Bewertung der Eignung des Verfahrens für ein Online-Verkehrsmonitoring mit darauf aufbauender Steuerung vorgesehen.

Mit Hilfe der aus dem Forschungsprojekt erzielten Ergebnisse wird den für die Straßeninfrastruktur verantwortlichen öffentlichen Stellen ein neues Werkzeug zur Verfügung gestellt, welches die Zeit- und Kosteneffizienz der Verkehrsdatenerhebung signifikant steigert und gleichzeitig die kurzfristige Ermittlung und Umsetzung von gezielten Optimierungsmaßnahmen ermöglicht. Dadurch profitiert die Mobilität von einer erhöhten Verkehrssicherheit bei gleichzeitiger Reduktion von verkehrsflusshemmenden Stauereignissen.

Herkömmliche Methoden des Verkehrsingenieurwesens sind typischerweise beschränkt auf vielfältige Analysen von in existierenden Strukturen erfassten zeitaggregierten Verkehrsdaten, wie z. B. die Zähl- und Messgrößen zur Verkehrsstärke, Geschwindigkeit, Dichte etc. i.d.R. nach zwei Fahrzeugarten klassifiziert. Zur Analyse von hinsichtlich Verkehrssicherheit oder Leistungsfähigkeit auffälligen Strecken- oder Knotenbereichen stehen auch weitergehende Methoden zur Verfügung, wie z. B. Videobeobachtungen mit Expertenanalysen im Sinne von Konflikt- oder Verhaltensanalysen. Eine algorithmenbasierte, kontinuierliche Analyse der Interaktionen von Einzelfahrzeugen in einem verkehrstechnisch zusammenhängenden Bereich in einem relevanten Zeitfenster ist bisher nicht verfügbar.

Gemäß der Grundidee der Konfliktanalyse treten Unfälle erheblich seltener auf als Konfliktsituationen zwischen Fahrzeuglenker und Infrastruktur bzw. von Fahrzeuglenkern untereinander. Dieser Grundidee folgend wird es methodisch als zielführend erachtet hinreichend große, funktional zusammenhängende Verkehrsflächen zur Analyse der Verkehrssicherheit und Leistungsfähigkeit gleichzeitig beobachten und reproduzierbar dokumentieren zu können. Dabei ist die Motivation, die räumlich-zeitliche Erfassung des realen Verhaltens von Einzelfahrzeugen als Grundlage der Analyse und Interpretation des tatsächlichen Fahrerverhaltens umzusetzen.

Das Ziel des Forschungsvorhabens DROVA ist daher die Erfassung von Einzelfahrzeugen in einem verkehrstechnisch zusammenhängenden Bereich für ein relevantes Zeitintervall als 3D-Fahrlinien zur systematischen Analyse der räumlich-zeitlichen Interaktion von Einzelfahrzeugen im Längs- und Querverkehr. Dies umfasst die Bewegung im Lageplan mit Erfassung des Spurbezugs unter Vernachlässigung des Höhenplans über die Zeit, da die Eigenschaften

des Höhenplans statisch sind und bei Bedarf so in der Analyse für alle Fahrzeuge einheitlich berücksichtigt werden können.

Ausgehend von der vorstehend bezeichneten Methodik ist ein weiteres Ziel des Vorhabens, eine detaillierte Analyse der Einzelfahrzeuginteraktion zu ermöglichen, welche mittels Unterscheidung von Abständen und Geschwindigkeiten sowie deren Variation eine neuartige Bewertung des Verkehrsablaufs zulässt.

Somit soll eine gezielte Nutzenoptimierung von vorhandener Infrastruktur oder auch die Nutzung der Verbesserungspotenziale von betrieblichen Maßnahmen herbeigeführt werden. Hierzu soll DROVA die Erhebung der notwendigen Eingangsdaten und deren Aufbereitung bis hin zum Analyseergebnis kosteneffizient und ohne Eingriff in den Verkehrsraum ermöglichen.

Auf Basis der Ergebnisse der beiden Demonstrationsanwendungen ist abschließend eine Bewertung der Eignung der Methodik für ein Online-Verkehrsmonitoring und darauf aufbauende Steuerungsverfahren vorgesehen.

3 Methodik und technische Aspekte

Die nachfolgende Vorhabenbeschreibung des Forschungsprojektes DROVA beinhaltet die wissenschaftlichen Ansätze sowie die Innovationsschritte gegliedert in technische und anwendungsspezifische Bereiche. In dem darauffolgenden Abschnitt wird für die unterschiedlichen Akteure bei Planung, Bau und Betrieb der Infrastruktur der resultierende betriebliche, individuelle, gesellschaftliche und volkswirtschaftliche Mehrwert einer drohnenbasierten Verkehrsdatenerfassung und –analyse dargestellt.

3.1 Technische Innovation

Der technisch-wissenschaftliche Ansatz des Forschungsprojektes baut auf der Kombination drohnenbasierter Videoaufnahmen mit Bildauswertungstechniken, die eine kosteneffiziente und hochgenaue Datenerfassung erlauben, auf. Darauf basierend sollen Mikroverkehrsdaten (Einzelfahrzeugdaten) automatisiert ermittelt werden, welche eine detaillierte Analyse des Verkehrs und somit neue Optimierungsmöglichkeiten unterschiedlicher Verkehrsbeeinflussungs- und sonstiger Infrastrukturmaßnahmen ermöglichen.

Konkret wird im Forschungsprojekt eine videobasierte Verkehrsdatenerfassung fokussiert. Die technische Lösung soll die Vorteile von Videoaufnahmen aus Drohnen ausschöpfen. Mit Hilfe von Drohnen kann der Verkehr aus einer Perspektive beobachtet werden, die eine Abdeckung eines sehr großen Bereichs bis zu mehreren hundert Metern erlaubt (bei visueller, menschlicher Analyse bis zu 800 m aus 100 m Flughöhe, siehe Abbildung 2). Das Potential der Analyse aus dieser Perspektive wurde schon im Rahmen abgeschlossener Projekte im Auftrag einiger Betreiber - wie z. B. Straßen NRW – erkannt, in denen anhand der visuellen Auswertung von Videodaten Maßnahmen zur Verkehrsoptimierung bei Autobahnknotenpunkten und einer Telematikanlage erarbeitet wurden (Thomas Gerlach, Sky-High-Views GbR, 2016).



Abbildung 2: Perspektive aus Drohnenflug [Sky-High-Views GbR, 2016]

Über die große Flächenabdeckung hinaus kann durch die Höhe des Drohnenfluges eine geringe Überdeckung der einzelnen Fahrzeuge sichergestellt werden. Das hierdurch entstehende Potential einer Computer-Vision-basierten Auswertung der aufgenommenen Videodaten stellt einen weiteren technischen Ansatz dar. Die Methode basiert auf einer vollständigen Bildstabilisierung der Videos mit einer nachträglichen Analyse der pixelbasierten Farbintensitäten und Kanteninformationen, die eine Identifikation der auf der Straße befindlichen Objekte ermöglichen. Unter Nutzung von vorhersagebasierten Trackingverfahren, wie Partikel- oder Kalman-Filter, werden die Bewegungen der Fahrzeuge in jedem Bild aufgezeichnet und geeignet abgespeichert. Dabei entstehen je Analysezeitschritt momentane Verkehrsdaten, die zu jedem Zeitpunkt den Verkehr mit hohem Detaillierungsgrad (Einzelfahrzeugtrajektorien) in seiner Gesamtheit im Analysebereich beschreiben. Es können durch die intelligente Vernetzung dieser Einzelfahrzeugdaten mit verkehrstechnischer Grundinformationen Merkmale des Verkehrsflusses, Verkehrsdichten und Verkehrsstärken sowie in der Abfolge der Szenen von deren Veränderungen direkt abgeleitet werden. Darüber hinaus können Stauwellen im Datensatz erkannt, quantitativ beschrieben und analysiert werden.

Für die Mobilität entstehen mit Hilfe der oben beschriebenen Ansätze vielseitige Innovationspotentiale, die zur Nutzungsoptimierung der bestehenden Infrastruktur führen werden. Durch die Nutzung von Drohnen und die automatisierte Auswertung des Videomaterials wird für die Zukunft eine neue Möglichkeit der temporären Datenerfassung erschlossen. Die schnelle Einsatzmöglichkeit der Drohnen wird die Zeit zwischen Bedarfserfassung und Ermittlung erster Verkehrsdatensätze im Vergleich zum heutigen Stand der Technik deutlich verkürzen. So können in der Folge Optimierungsmaßnahmen schneller erarbeitet und eingeleitet werden. Gleichzeitig ist der Einsatz der beschriebenen nichtinvasiven Erfassungstechnik erheblich kosteneffizienter, als der Einsatz herkömmlicher Datenerfassungssysteme. Für die Datenermittlung muss weder die bestehende Infrastruktur noch der Verkehrsfluss durch die Integration von Sensorik in den Verkehrsraum beeinträchtigt werden. Zur weiteren Effizienzsteigerung führt die simultane Erfassung mehrerer Fahrrichtungen und Fahrstreifen. Somit stellt allein das Konzept der drohnenbasierten Aufzeichnung von Verkehrsdaten einen besonderen Innovationsschritt für die Mobilität dar und adressiert gleichzeitig den im Modernitätsfond verankerten Förderschwerpunkt „Datenzugang“.

Darüber hinaus ist die Beschreibung des Verkehrs durch momentane Bewegungsinformationen einzelner Fahrzeuge, wie man sie derzeit aus der Verkehrssimulation kennt, bisher nur indirekt und i.d.R. aggregiert über querschnittsbezogene Daten (quasilokale Erfassung) oder mit einer geringen Abdeckungsrate über Floating-Car-Data (Stichprobe quasimomentane Erfassung) möglich. Der hohe Detaillierungsgrad der Verkehrsdaten ermöglicht neue Methoden der Verkehrsanalyse sowie innovative Algorithmen für die Verkehrsoptimierung. Dies stellt einen wesentlichen innovativen Aspekt des Forschungsprojektes DROVA dar.

3.2 Anwendungsspezifische Innovation

Weitere Ansätze, die im Forschungsprojekt umgesetzt werden, zeigen beispielhaft, wie die Nutzung der neu erfassten mikroskopischen Verkehrsdaten sowie deren intelligente

Vernetzung mit bestehenden Verkehrsdaten und Geoinformationen zur wirtschaftlichen und sicherheitsbezogenen Optimierung täglicher Mobilitätsszenarien führen können. Dabei werden zwei Optimierungskonzepte im Bereich der Zuflussregelungsanlagen sowie in der Arbeitsstellensicherung bzw. Verkehrsführung von Arbeitsstellen längerer Dauer auf Autobahnen konkret umgesetzt.

Zuflussregelungsanlagen stellen eine punktuelle, wirksame, verkehrstelematische Maßnahme dar, die kostengünstig ohne Veränderungen der baulichen Infrastruktur realisiert werden kann. Die verkehrstechnische Wirkung der Steigerung der Leistungsfähigkeit und damit auch Stauvermeidung wird insbesondere durch Zerstückelung von der Autobahn zufahrenden Pulken erreicht. Dabei ist die Sinnfälligkeit dieser betrieblichen und kostengünstigen Maßnahme stark von den Verkehrsverhältnissen auf der durchgehenden Strecke in Relation zur Charakteristik des zufließenden Verkehrs geprägt. Bisherige Methoden zur Untersuchung der Sinnfälligkeit derartiger Anlagen sind bereits in der Phase der Datenerhebung problematisch, da kein Erhebungsverfahren existiert, welches das Verkehrsverhalten auf der Hauptfahrbahn und im Bereich der Einfahrt im relevanten Bereich von ca. 500 – 600m der Strecke einschließlich Zufahrtbereich zusammenhängend erfassen kann. Mittels DROVA soll dies mit der Erhebung von Einzelfahrzeugdaten ermöglicht werden. Nach der Erhebung der Einzelfahrzeugdaten in Form von Trajektorien im Lageplan und in diskreten Zeitschritten in der Zeit als dritte Dimension entstehen 3D-Fahrlinien. Dabei wird methodisch der Verlauf im Höhenplan vernachlässigt. Aus den 3D-Fahrlinien können dann die Charakteristika des Verkehrsablaufs im gesamten Anlagenbereich mit neu zu entwickelnden Kenngrößen abgeleitet werden. Diese sollen auf Dichtestruktur, Geschwindigkeiten und Fahrstreifenwechsel einschließlich deren Dynamik auf statistischen Kenngrößen mittels Vektorenanalyse der 3D-Fahrlinien abgeleitet werden. So wird eine systematische Bewertung der Sinnfälligkeit dieses telematischen Anlagentyps ermöglicht und bei bestehenden Anlagen kann gezielt die Güte der Parametrierung und Funktion überprüft und optimiert werden.

Arbeitsstellen längerer Dauer stellen aufgrund ihrer Auswirkungen auf den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit einen erheblichen Eingriff in den Verkehr dar. Mit der beschriebenen Methodik und einer intelligenten Vernetzung dieser Verkehrsdaten mit Geoinformationen und Straßenführungsdaten werden für Arbeitsstellen längerer Dauer anhand der Analyse von Verkehrsfluss, Verkehrsdichten und Verkehrsstärken Sicherheitsrisiken und etwaige verkehrsbeeinflussende Hindernisse vor der Planung lokalisiert.

Anschlussstellen führen aufgrund erhöhter Verflechtungsströme zu bisher nicht systematisch für die Gesamtheit aller Fahrzeuginteraktionen untersuchten Konfliktsituationen. Ein anwendungsspezifischer Ansatz verfolgt die projektbezogene Betrachtung, ob die jeweilige Anschlussstelle aufgrund der Zunahme von Verflechtungsströmen vor oder innerhalb einer Arbeitsstelle verkehrssicherheitsrelevante sowie verkehrsflusshemmende Auswirkungen aufweist. Davon ausgehend kann untersucht werden, welche konkreten Handlungsempfehlungen einer solchen Problematik entgegenwirken können.

Mit dem Beschluss des Entwurfs für die technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR A5.2) [ASR, 2014] durch den Ausschuss für Arbeitsstätten wurde der Grundstein für einen Zuwachs

der Sicherheit für die Arbeiten auf Arbeitsstellen auf Bundesautobahnen gelegt. Dieser Beschluss bedeutet jedoch zugleich, dass gewisse Verkehrsführungen aufgrund der beengten Verhältnisse auf Bundesautobahnen nicht mehr realisiert werden können. Ein Fakt, der die Kapazität durch die Wegnahme von Fahrstreifen herabsetzt. Die entsprechenden Auswirkungen auf die Interaktion zwischen Fahrzeugen sowie Fahrzeugen und der Infrastruktur werden ausführlich in DROVA untersucht.

Die drohnenbasierte Verkehrsdatenerfassung und –analyse bietet die Möglichkeit der schnellen und effizienten Ableitung von gezielten, projektspezifischen Handlungsempfehlungen für eine Arbeitsstellensicherung. Dies hat einen Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und führt zu einer Minimierung von arbeitsstellenbedingten Stauereignissen. Dies stellt den besonderen Innovationsschritt in diesem Anwendungsbereich für die Mobilität dar.

3.3 Mehrwert des Ansatzes

Der Einsatz von flächendeckenden, drohnenbasierten Videoaufnahmen mit einer eingehenden automatisierten Auswertung der aufgenommenen Videodaten erlaubt eine Ableitung von Verkehrsdaten, die zu jedem Zeitpunkt den Verkehr mit einem hohem Detaillierungsgrad beschreiben. Dabei ist dieses Verfahren ein schneller und kosteneffizienter Ansatz, da dies neben der exakten, simultanen Erfassung von mehreren Fahrstreifen eine nichtinvasive Erfassungstechnik für die bestehende Verkehrsinfrastruktur darstellt. Für die Nutzer – Straßenbauverwaltungen und/oder Straßenverkehrsbehörden der Länder – bedeutet die Generierung von Verkehrsdaten anhand von drohnenbasierter Videoerhebungen eine enorme Effizienzsteigerung.

Ein weiterer durch das Forschungsprojekt DROVA erkennbarer Mehrwert entsteht durch die digitale Vernetzung der neu generierten Verkehrsdaten mit der durch das BMVI zur Verfügung stehenden Datengrundlage. Auf Basis dieser Fusion werden Maßnahmen zu einer Nutzenoptimierung der bestehenden Infrastruktur verkehrstechnisch abgeleitet. Die daraus resultierende Sicherstellung des Verkehrsflusses wird durch die Reduktion zu erwartender Kapazitätsengpässe dem volkswirtschaftlichen Schaden entgegenwirken.

Die enge Kooperation zwischen Privatwirtschaft und Wissenschaft während des Forschungsprojekts führt zu neuen Synergieeffekten und zur Entwicklung innovativer Technologien der Verkehrsdatenerfassung und –analyse, die derzeit weder national noch international zur Verfügung stehen.

3.4 Zugriff auf vorhandene Datenbestände

Im Forschungsprojekt DROVA sollen die Ziele insbesondere durch die Nutzung bestehender Grundinformationen und deren Verschneidung mit neu erhobenen mikroskopischen Verkehrsdaten erreicht werden. Die durch das BMVI sowie Länderbehörden zur Verfügung stehenden Grundinformationen beinhalten Daten, die das Verkehrsnetz, Verkehrsaufkommen sowie die Stauereignisse beschreiben. In Bezug auf die Abstimmung der Testfelder für AID und ZRA wird ein intensiver Austausch mit dem Landesbetrieb Straßenbau NRW (Straßen.NRW) gepflegt.

Es ist der Zugriff über die Auftragsverwaltung des Bundes notwendig und vorabgestimmt. Siehe hierzu auch den LOI der Verkehrszentrale NRW für den Bereich der Zuflussregelungsanlagen. Dies betrifft zum einen aus den vorhandenen telematischen Anlagen exportierbare Verkehrsdaten in roher oder auch aggregierter Form sowie ergänzend als geographisch verortete Vektordaten erforderliche Bestandsinformationen zur Infrastruktur. Diese Informationen werden entsprechend der vorgesehenen Demonstratoren bereichsspezifisch angefragt.

Darüber hinaus stehen durch die Verordnung zur Umsetzung der Open Data Prinzipien für das Bundesland NRW die Geobasisdaten gebührenfrei für ausgewählte Testfelder in NRW zur Verfügung. Als Geobasisdaten werden alle amtlichen Daten der Vermessungs- und Katasterverwaltungen aufgeführt. Im Projekt DROVA werden die Geländedaten verwendet, um zusammen mit den Orthofotos ein digitales Abbild der Straßeninfrastruktur zu generieren bzw. selbst erstellte Geländemodelle zu validieren. Im Einzelnen stehen aus der Geodateninfrastruktur NRW folgende Daten zur Verfügung:

- Digitale Höhen- und Landschaftsmodelle
- Digitale topographische Karten
- Luftbilderzeugnisse
- Liegenschaftskataster

4 Ergebnisse nach Arbeitspaketen

4.1 AP 1 – Anforderungsanalyse, Anwenderforderungen

In diesem Arbeitspaket wird im Vorfeld einer technischen Umsetzung eruiert, welche Anforderungen an die Aufnahmen und Auswertungen der Verkehrsdaten durch die gewählten Beispielszenarien bzw. die adressierten Anwender der Verfahren gestellt werden. Das Ergebnis dieses Teilarbeitspakets wird eine Spezifikation der Anwenderforderungen sein, die als Grundlage und Zielvorgabe für die weiteren Arbeitspakete dient.

i. Teilaspekt 1: Bildverarbeitung

Im Rahmen der Anforderungsanalyse für die Bildverarbeitung sind vordergründig die Anforderungen an das Framework untersucht worden. Diese umfassen im Einzelnen die Geschwindigkeiten der Auswertung und die nötigen Schritte, die für die automatisierte Auswertung angewendet werden müssen. Die Stabilisierung und die Kalibrierung wurden als erste wichtige Schritte identifiziert, um überhaupt eine Auswertung vornehmen zu können, noch bevor das Problem der Automatisierung angegangen werden kann.

Für die Kalibrierung der internen Parameter wurde bereits im Jahr 2017 ein Termin vereinbart, an dem die Drohne eine Woche lang dem isac überlassen wurde, damit die Parameter eingemessen werden können. Für die Kalibrierung der externen Parameter werden verschiedene Methoden untersucht und verglichen.

Auch dem digitalen Abbild des Straßenraums auf Basis von Drohnenbildern galt ein besonderes Interesse. Die Machbarkeit der Photogrammetrie ist im Jahr 2018 mit Beginn der Voruntersuchungen an den Testfeldern im Detail untersucht worden und wird als zielführend erachtet.

Für die Videoaufnahmen des Verkehrsgeschehens ist insbesondere die Stabilisierung der Kamera eine wichtige Voraussetzung, so dass kleine Bewegungen der Kamera an der Drohne die Messungen nicht beeinflussen. Viele wissenschaftliche Arbeiten zu diesem Thema zielen hauptsächlich auf das Herausfiltern von Zitterbewegungen, ohne dabei alle auftretenden Bewegungen zu eliminieren. Im Verlauf der Voruntersuchungen wurden zudem vermehrt ruckartige Bewegungen in den Videoaufnahmen festgestellt, die als notwendiges Gegensteuern vom Drohnenpilot bzw. der automatischen Steuerung der Drohne in Verbindung mit der Kamerajustierung zu interpretieren sind, damit die vorausgewählte Perspektive auch bei böigem Wind gehalten werden kann. Es wird derzeit geprüft, ob die Kalibrierungsmethoden dafür noch ausreichend sind.

Damit alle Kooperationspartner mit den gleichen Auswertungsmethoden arbeiten können, ist es wichtig, eine gemeinsame Grundlage für diese Auswertung zu schaffen. Diese Grundlage bezieht sich hauptsächlich auf die Eingangsdaten für die Analyse des Verkehrs und damit auf die Ausgangsdaten der automatisierten Auswertung. Um einen zeitlich und örtlich unabhängigen Zugriff auf die generierten Daten zu ermöglichen, werden diese am isac auf einem redundanten SQL-Server gespeichert und die Zugriffsrechte verwaltet.

Für den automatisierten Auswertungsprozess muss eine Schnittstelle definiert werden, die es erlaubt, detektierte Fahrzeuge mit ihren Positionen in diese SQL-Datenbank hochzuladen. An dieser Stelle werden die Positionen gespeichert, zusammen mit der laufenden Nummerierung der Aufnahme, dem Zeitpunkt der Detektion und anderen Parametern, die die eindeutige Zuordnung der Detektion erlauben.

Das isac hat den Aufbau der Datenbank dem Projektpartner ausführlich erläutert und Beispieldaten zur Verfügung gestellt. Die entsprechenden Metainformationen werden zusätzlich in dem Datenmanagementplan (DMP) schriftlich festgehalten. Eine Nachnutzung der generierten Daten wird somit von Anfang an gewährleistet.

ii. Teilaspekt 2: Festlegung von Sicherheitsindikatoren

Die bisherigen Untersuchungen zum Verkehrsablauf auf dem hochrangigen Straßennetz in Deutschland sind insbesondere durch die makroskopische Betrachtungsweise gekennzeichnet. So wird die Kapazität einer Straße anhand der Verkehrsstärke und Geschwindigkeit bzw. die Qualität des Verkehrsablaufs anhand der Verkehrsdichte beschrieben. Anhand dieser makroskopischen Kenngrößen können z.B. Maßnahmen für die Steuerung des Verkehrs überprüft werden.

Für die Beschreibung der Verkehrssicherheit existiert keine allgemeingültige Definition, da die Verkehrssicherheit sich nur mittelbar aus anderen beobachtbaren Sachverhalten erschließen lässt. In Deutschland wird dazu ein Grad an Sicherheit mittels Unfallstatistik wahrgenommen. Dazu werden sog. Unfalltypenkarten mit zwei Darstellungen erzeugt: Die Einjahreskarte stellt alle Unfälle dar, während die Dreijahreskarte nur die Unfälle mit Personenschäden bzw. schweren Personenschäden enthält. Der Grundgedanke dahinter ist, dass eine Häufung von gleichartigen Unfällen an einer Örtlichkeit auf Defizite der Verkehrsinfrastruktur hindeutet. Dadurch können gezielt geeignete Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit entwickelt und umgesetzt werden. Die Sicherheitswirkung einzelner Maßnahmen ist daher eine sehr zeitaufwändige Aufgabe und wirft auch ethische Probleme auf. Eine Bewertung von risikobehafteten Situationen und Fahrmanövern, die unter gewissen Umständen zu Unfällen führen können, blieb bisher in der Verkehrssicherheitsbewertung der Straßen in Deutschland aus.

An dieser Stelle setzt das Forschungsprojekt DROVA an und analysiert das Verkehrsgeschehen auf mikroskopischer Ebene. Mittels Sicherheitsindikatoren können Schlussfolgerungen über die Verkehrssicherheit anhand der Analyse der im Verkehr entstehenden Konfliktsituationen gezogen werden. Nach Hydén (1978) ist „ein Verkehrskonflikt eine beobachtbare Situation, in der sich zwei oder mehr Verkehrsteilnehmer in Raum und Zeit so weit annähern, dass die Gefahr eines Zusammenstoßes besteht, wenn ihre Bewegungen unverändert bleiben.“ Also Konflikte sind sicherheitsrelevante Ereignisse im Verkehr, die zu keinem Unfall geführt haben. Die Methode der Sicherheitsindikatoren ist also präventiv, weil nicht auf Unfälle „gewartet“ wird – und somit gefährliche Stellen frühzeitig als solche erkannt werden können.

Durch das digitale Abbild der Straßeninfrastruktur und der einzelnen Fahrzeuge können Trajektorien der Fahrzeugbewegungen jedes Verkehrsteilnehmers auf den einzelnen Fahrstreifen verortet und hinsichtlich des Unfallpotenzials mittels Sicherheitsindikatoren ausgewertet werden. Die Trajektorien und die davon ableitbaren Kenngrößen, wie Geschwindigkeit, Beschleunigung, Distanz zwischen Fahrzeugen, dienen als Eingangsgrößen für die Sicherheitsindikatoren. Durch die Indikatoren werden insbesondere die gefährlichen Brems- und Beschleunigungsvorgänge identifiziert und das Abstandsverhalten zwischen den Fahrzeugen analysiert. Dabei können die gegebenen Verkehrssituationen anhand von Schwellwerten der unterschiedlichen Sicherheitsindikatoren als sicherheitskritische oder sichere Ereignisse eingestuft werden. Es werden zwischen Sicherheitsindikatoren für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Interaktionen (V2V) und für die Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Interaktionen (V2I) unterschieden. Die Digitalisierung des Verkehrsablaufs ermöglicht es mittels Sicherheitsindikatoren, die Verkehrssicherheitsanalyse für das ganze Verkehrsgeschehen zu jedem Zeitpunkt durchzuführen.

Im Folgenden werden die mikroskopischen Sicherheitsindikatoren, welche für die Analyse im Projekt DROVA verwendet werden, zusammenfassend dargestellt.

- **Fahrzeug-Fahrzeug-Interaktion (V2V)**

Für die Bewertung kritischer Fahrmanöver sind insbesondere die unvorhersehbaren Brems- und Beschleunigungsvorgänge einzelner Verkehrsteilnehmer, sowie das daraus resultierende Abstandsverhalten zwischen den Fahrzeugen von Bedeutung. Aus der einschlägigen Literatur können zu Analyse Zwecken vornehmlich die im Folgenden aufgelisteten Sicherheitsindikatoren herangezogen werden. Die Indikatoren können in unterschiedliche Kategorien unterteilt werden. Im Weiteren wird eine gängige Kategorisierung gemäß Mahmud et al. (2017) verwendet. Diese basiert auf den berechneten Größen der Indikatoren und unterscheidet daher zwischen zeitlichen, beschleunigungsbasierten und distanzbasierten Indikatoren.

a. Time-To-Collision

Zu den zeitbasierten Sicherheitsindikatoren gehört das sog. Time-to-Collision (TTC). Dieser Indikator gibt - an einem beliebigen Beobachtungszeitpunkt - die Zeit bis zum Zusammenstoß von zwei interagierenden Fahrzeugen an, wenn die Fahrzeuge ab Beobachtungszeitpunkt ihre Fahrtrichtung nicht mehr ändern und ihre Geschwindigkeit konstant halten würden. [Hayward 1972; Kuang et al. 2015; Guido et al. 2011] Der TTC Wert berechnet sich nach Guido et al. (2011) wie folgt:

$$TTC = \begin{cases} \frac{D_{1-2}}{V_2 - V_1}, & \text{wenn } V_2 > V_1 \\ \infty, & \text{sonst} \end{cases} \quad \text{Formel 1}$$

Wobei D_{1-2} die Distanz zwischen den Fahrzeugen und V_2 und V_1 die Geschwindigkeiten des nachfolgenden bzw. vorausfahrenden Fahrzeugs zum Beobachtungszeitpunkt beschreiben. Es gibt in der Literatur unterschiedliche Schwellwerte für die TTC, damit die analysierte Verkehrssituation bewertet werden kann. Meistens wird dieser Schwellwert

als 1,5 s angenommen. D.h. eine Situation zählt als sicherheitskritische Interaktion, wenn die TTC weniger als 1,5s ist. [Mahmud et al. 2017].

In Formel 1 ist das Beschleunigungsverhalten der Fahrzeuge nicht berücksichtigt, was zu einer fehlerhaften Bewertung der Situation führen kann, da die Geschwindigkeit der Fahrzeuge im realen Verkehr meistens nicht konstant gehalten wird. Somit wurde die TTC mit den Beschleunigungen der Fahrzeuge folgenderweise erweitert:

$$TTC = \begin{cases} \frac{D_{1-2}}{V_2 - V_1}, & \text{wenn } V_2 > V_1 \text{ und } a = 0 \\ \frac{-V_d \pm \sqrt{V_d^2 - 2 a_d D}}{a_d}, & \text{wenn } a_d \neq 0 \end{cases} \quad \text{Formel 2}$$

Hier sind V_d die Geschwindigkeitsdifferenz und a_d die Beschleunigungsdifferenz der interagierenden Fahrzeuge. [Stierlin, 2012]

b. Deceleration Rate to avoid Crash

Zu den beschleunigungsbasierten Indikatoren gehört die sog. Deceleration Rate to Avoid Crash (DRAC). Im Längsverkehr bezeichnet die DRAC die kleinste Verzögerung des nachfolgenden Fahrzeugs zu einem Beobachtungszeitpunkt, die für das Verhindern einer Kollision mit dem vorausfahrenden Fahrzeug notwendig ist [Cooper, 1976]. Für den DRAC ergeben sich demnach folgende Formel:

$$DRAC = \begin{cases} \frac{(V_2 - V_1)^2}{2D_{1-2}}, & \text{wenn } V_2 > V_1 \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad \text{Formel 3}$$

Wobei D_{1-2} die Distanz zwischen den Fahrzeugen und V_2 und V_1 die Geschwindigkeiten des nachfolgenden bzw. vorausfahrenden Fahrzeugs zum Beobachtungszeitpunkt beschreiben [Cooper, 1976]

Diese Berechnungsweise vernachlässigt die Reaktions- bzw. Wahrnehmungszeit. Die modifizierte DRAC (MDRAC), die diese Zeitwerte wiederum berücksichtigt, wurde von Kuang et.al (2015) eingeführt. Die Herleitung des Indikators MDRAC ergibt sich nach Abbildung 3 und wird folgenderweise berechnet:

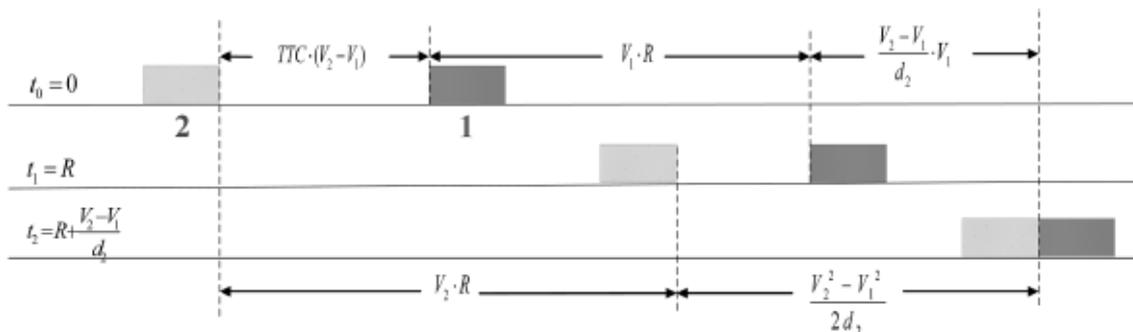


Abbildung 3: Konfliktsituation in Betrachtungsweise nach MDRAC [Kuang et al., 2015]

$$\text{MDRAC} = \begin{cases} \frac{V_2 - V_1}{2(\text{TTC} - R)}, & \text{wenn } \text{TTC} > R \\ \infty, & \text{sonst} \end{cases} \quad \forall V_2 > V_1 \quad \text{Formel 4}$$

Hier steht R für die Reaktionszeit des nachfolgenden Fahrzeugs. TTC beschreibt die (einfache) Time-to-Collision zwischen den Fahrzeugen zum Beobachtungszeitpunkt.

Als weiteres Defizit der DRAC und MDRAC wird in Fazekas et al. (2017) die Betrachtung ausschließlich konstanter Geschwindigkeitsverhalten beider Fahrzeuge beschrieben. Aus diesem Grund ist der MDRAC zur DCIA weiterentwickelt worden (vgl. Punkt d).

Die Sicherheitsindikatoren DRAC und MDRAC bewerten die Verkehrssituationen ebenfalls anhand eines Schwellwertes. Nach Archer (2004) ist eine Situation gefährlich, wenn das nachfolgende Fahrzeug eine Verzögerung stärker als $3,35 \text{ m/s}^2$ durchführen muss.

c. Deceleration Rate to Avoid Crash using Constant Initial Acceleration

Der Sicherheitsindikator Deceleration Rate to Avoid Crash using Constant Initial Acceleration (DCIA) ist am Institut für Straßenwesen (isac) entwickelt worden. In einer Situation, in der zwei Fahrzeuge einander folgen, beschreibt der Indikator DCIA die nötige Verzögerungsrate, die das nachfolgende Fahrzeug aufweisen muss, um die Kollision mit dem Forausfahrenden vermeiden zu können. Die DCIA basiert auf dem Indikator MDRAC und ergänzt diesen mit der Annahme, dass beide Fahrzeuge mit konstanter Beschleunigung bzw. Verzögerung im Beobachtungszeitpunkt (Abbildung 4). Diese Annahme erlaubt eine realistischere Betrachtung der Verkehrssituationen [Fazekas et al. 2017].

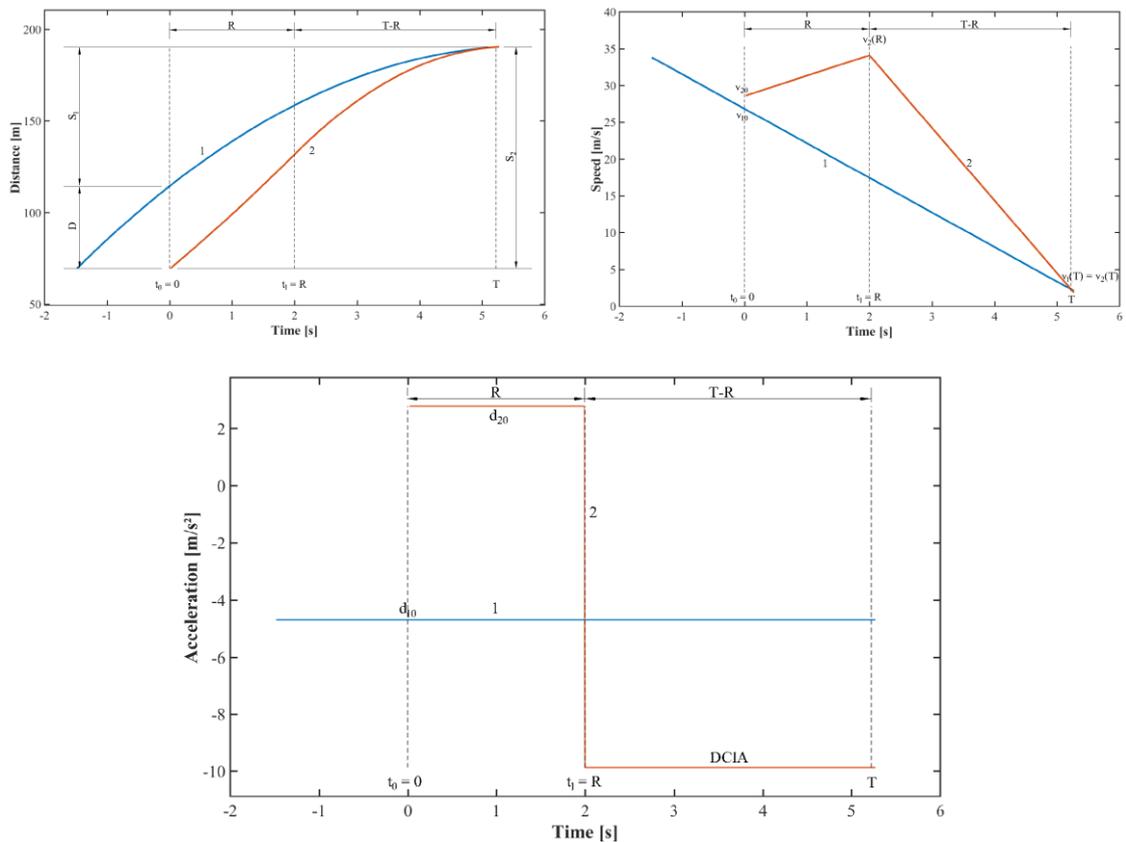


Abbildung 4: Abstand-Zeit-, Geschwindigkeit-Zeit- und Beschleunigung-Zeit-Diagramm, welche der Berechnung der DCIA zugrunde liegt

Für die Berechnung des DCIA ergeben sich Formel 5 und Formel 6, die auf dem Beschleunigungsverhalten zweier aufeinander folgender Fahrzeuge beruhen. Die genaue Herleitung ist in Fazekas et al. (2017) zu entnehmen.

$$DCIA = \frac{d_{10}T + v_{10} - d_{20}R - v_{20}}{T - R} \tag{Formel 5}$$

$$T = \frac{v_{20}R \pm v_{10}R - 2D}{v_{10} - d_{10}R - v_{20} + d_{20}R} \tag{Formel 6}$$

Hier beziehen sich v_{10} und v_{20} auf die Geschwindigkeiten und d_{10} und d_{20} auf die Beschleunigungen der vorausfahrenden und nachfolgenden Fahrzeuge zum Beobachtungszeitpunkt. R steht für die Reaktionszeit des nachfolgenden Fahrzeugs und T beschreibt die Dauer des Bremsvorgangs des Nachfolgenden. Der Schwellwert der DCIA liegt bei $3,4 \text{ m/s}^2$, welcher bei DRAC und MDRAC ebenfalls verwendet wird.

d. Stopping Distance

Zur Bewertung kritischer Fahrmanöver ist die Betrachtung des Abstandsverhaltens zwischen den direkt folgenden Fahrzeugen elementar. Nur durch eine ausreichende Lücke kann gewährleistet werden, dass ausreichend Raum und Zeit zur Verfügung steht um auf unvorhergesehene Ereignisse zu reagieren („Halber Tachoabstand in Metern“). Die distanzbasierten Indikatoren analysieren dementsprechend den zwischen interagierenden Verkehrsteilnehmer verfügbaren Abstand.

Der Sicherheitsindikator Stopping Distance (SD) berechnet die verbleibende Distanz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Fahrzeugen für den Fall, dass das vorausfahrende Fahrzeug ab dem Beobachtungszeitpunkt eine Notbremsung durchführt, das Folgefahrzeug darauf ebenfalls mit einer Notbremsung reagiert und beide Fahrzeuge zum Stillstand kommen würden [Lee, 2015]. Die SD kann aus den theoretischen Überlegen nach Abbildung 5 bestimmt werden.

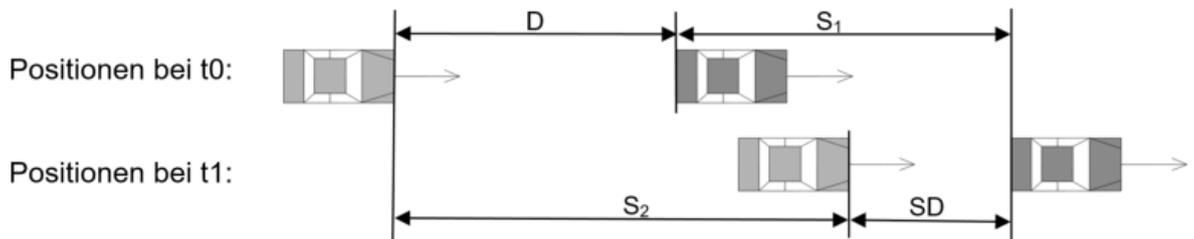


Abbildung 5: SD auf Basis zwei aufeinander folgender Fahrzeuge [Lee, 2015].

Daraus ergibt sich die SD folgenderweise [Lee, 2015]:

$$SD = S_1 + D - aS_2$$

Formel 7

Wobei S_1 und S_2 die von den vorausfahrenden und nachfolgenden Fahrzeugen zurückgelegten Entfernungen während ihres jeweiligen Bremsvorgangs sind. D ist die Distanz zwischen den beiden Fahrzeugen zum Zeitpunkt t_0 .

Da beide Fahrzeuge eine Notbremsung durchführen, wird ihre Verzögerung/Beschleunigung mit der maximal verfügbaren Verzögerungsrate (MADR – Maximum Available Deceleration Rate) angenommen. Diese ist u.a. von Fahrzeugtyp und Fahrbahnoberfläche abhängig. Werden die zurückgelegten Entfernungen mit Hilfe von MADR ausgedrückt, ergibt sich die SD zu:

$$SD = \frac{V_1^2}{2MADR_1} + D - V_2 \cdot R - \frac{V_2^2}{2MADR_2}$$

Formel 8

Dabei sind V_1 und V_2 die Geschwindigkeiten der beiden Fahrzeuge. $MADR_1$ und $MADR_2$ geben die maximal verfügbare Verzögerungsrate der Fahrzeuge an. R steht für die Reaktionszeit des nachfolgenden Fahrzeugs.

Wenn die SD zum Zeitpunkt t_1 geringer als null ist, bedeutet das, dass die Fahrzeuge nicht genügend Sicherheitsabstand zum Zeitpunkt t_0 eingehalten haben. Im Falle einer Notbremsung des vorausfahrenden Fahrzeuges, würde es dann zu einer Kollision mit dem Folgefahrzeug kommen [Lee, 2015]. Daher ergibt sich ein Schwellwert von 0 m für den Indikator SD.

e. Nettozeitlücke

Mit der Analyse der Zeitlücken wird ebenfalls eine Bewertung des Abstandsverhaltens von aufeinanderfolgenden Fahrzeugen vorgenommen. Je kleiner die Zeitlücke ist, desto weniger Zeit verbleibt dem Fahrer auf unvorhergesehene Fahrmanöver des vorausfahrenden Fahrzeugs selbst zu reagieren. Die Zeitlücke zwischen zwei Fahrzeugen sowie die Verteilung der Zeitwerte in einem definierten Abschnitt ist daher als Bewertungsgröße für die Verkehrssicherheit anzusehen [vgl. PIAO & MCDONALD, 2008].

f. Geschwindigkeitsverteilung

Zur Beurteilung des Geschwindigkeitsverhaltens werden statistische Kenngrößen vorgestellt, die im Sinne einer späteren Evaluierung der Bewertungsmethodik für ein Online-Verkehrsmonitoring verwendet werden können. Im Sinne eines derzeitigen Qualitätsmanagementkonzeptes für SBA werden Geschwindigkeitsverteilungen vermehrt in Steuerungsalgorithmen von Streckenbeeinflussungsanlagen eingesetzt. Als statistische Kenngrößen gelten als dimensionslose Bewertungsgrößen die Varianz der Geschwindigkeiten innerhalb und zwischen den Fahrspuren.

f/1. Varianz der Geschwindigkeiten innerhalb der Spuren

Nach [FGSV 386/1, 2019] treten kurze Zeitlücken bei kleineren Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen Fahrzeugen innerhalb einer Spur seltener auf. Die geringen Geschwindigkeitsschwankungen (kleine Varianz) stellen demnach eine Zielgröße für die Verkehrssicherheit dar. Als Möglichkeit einer Evaluierung bietet sich eine Analyse aus dem Vergleich von verkehrsreichen mit verkehrsarmen Zeiten an.

f/2. Varianz der Geschwindigkeiten zwischen den Spuren

Zu einer gleichmäßigeren Verteilung des Verkehrsaufkommens sollen ebenso geringe Geschwindigkeitsunterschiede zwischen benachbarten Spuren führen. Nach NISSAN, 2010, SCHMULDERS, 1990 und PIAO & MCDONALD, 2008 führt eine homogenere Geschwindigkeitsverteilung (Varianz möglichst klein) zu einer besseren Auslastung der Kapazität und verbessert somit den Verkehrsablauf.

- **Fahrzeug-Infrastruktur-Interaktion (V2I)**

Neben den Interaktionen zwischen aufeinanderfolgenden Fahrzeugen ist die Position der Fahrzeuge innerhalb der Fahrspuren ein entscheidendes Kriterium für Unstetigkeiten im Verkehrsablauf. Dabei muss zwischen unsicherer Fahrweise - also dem Unbeabsichtigten Abweichen der Fahrzeugtrajektorie – einerseits (Fall a) und dem beabsichtigten Wechsel von Fahrstreifen (Fall b) differenziert werden.

a. Spurverhalten

Für die Beurteilung des Fahrverhaltens wird anhand der Fahrzeugtrajektorien der Spurverlauf der Fahrzeuge rekonstruiert. Trajektorienverläufe, die innerhalb eines bestimmten Schwankungsbereichs der sogenannten Ideallinie in der Fahrstreifenmitte

liegen, gelten als unauffällig. Spurverhalten, die von dieser Ideallinie stark abweichen, stellen ein potenzielles Sicherheitsrisiko für den Verkehrsteilnehmer dar. Die Abweichungen können wiederum bewusst oder unbewusst herbeigeführt werden. Ein bewusstes Abweichen der Ideallinie deutet auf eine risikoreiche Fahrweise hin. Dagegen können aus dem unbewussten Abweichen von der Ideallinie auf Wahrnehmungsunsicherheiten der Fahrer geschlossen werden.

Als Grenzkriterium für die Definition einer Abweichung von der Ideallinie wird das unbewusste Überfahren der Fahrstreifenmarkierung (kein Fahrstreifenwechsellvorgang) festgelegt.

b. Fahrstreifenwechsellvorgänge

Entscheidend bei der Beurteilung potenzieller Unfallrisiken sind die Wechsellvorgänge von Verkehrsteilnehmern auf den einzelnen Fahrstreifen. An Anschlussstellen oder im Zulaufbereich von Arbeitsstellen ist es als relevant zu erachten, wann die Fahrer sich in die jeweiligen Fahrspuren einordnen.

In Abbildung 6 ist nach FGSV, 2011 beispielhaft die Einteilung des Vorlaufbereiches einer AkD in verschiedene Sektionen skizziert, die im Folgenden eine Kategorisierung der Fahrstreifenwechsellvorgänge aufgrund der Fahrstreifenreduktion ermöglichen.

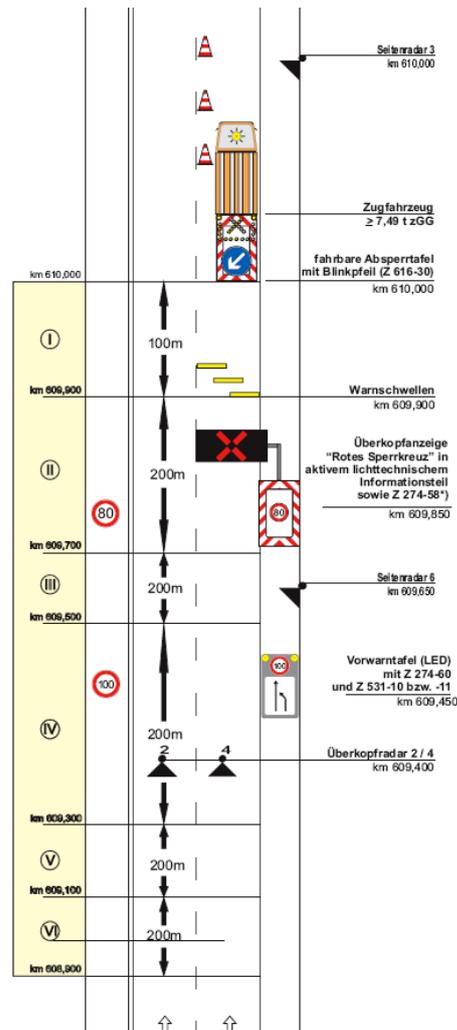


Abbildung 6: Beurteilung von Fahrstreifenwechseln vor einer Akd [FGSV 386/1, 2019]

In den Sektionen werden fahrstreifenbezogen die (Relativ-) Geschwindigkeiten sowie die Zeitlücken und Abstände erfasst. Des Weiteren werden die Fahrstreifenwechsel analysiert. Dafür werden zur besseren Vergleichbarkeit die relativen Anteile der Fahrstreifenwechsel in den jeweiligen Sektionen, bezogen auf den gesamten Zulaufbereich, herangezogen.

iii. Teilaspekt 3: Anwendung des Demonstrators Arbeitsstellen

Die Straßeninfrastruktur in Deutschland ist aufgrund eines Investitionsstaus in den letzten Jahren und Jahrzehnten zunehmend sanierungsbedürftig. Die dafür notwendigen Arbeitsstellen längerer Dauer (AID) auf Bundesautobahnen stellen dabei einen Eingriff in die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf dar. In bisherigen Untersuchungen zu dieser Thematik werden Arbeitsstellen in fest definierte Abschnitte eingeteilt (siehe Abbildung 7). Auf diese markanten Bereiche wird das Unfallgeschehen aus der 3 und 5 Jahresbetrachtung wiederum projiziert um Defizite in der Einrichtung der Arbeitsstelle im Nachhinein der Maßnahme zu evaluieren. Daraus kann geschlossen werden, dass mit der Einteilung der AID in Abschnitte Unfallschwerpunkte nur grob herausgearbeitet werden können. Dies erschwert wiederum die genaue Ursachenanalyse an den neuralgischen Punkten.

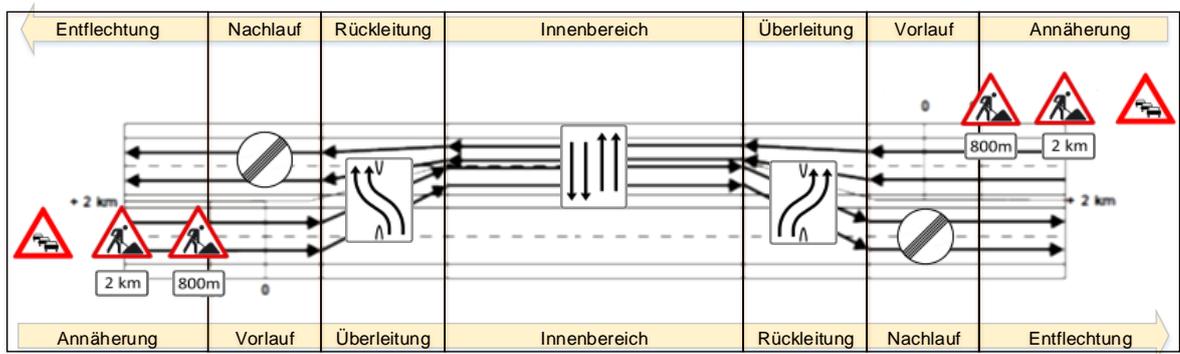


Abbildung 7: Einteilung AID in Untersuchungsabschnitte [Schnorbus, 2015]

Ziel der weiteren Arbeitsschritte in dem Forschungsprojekt ist es, die kritischen Verkehrsführungen und Bereiche von Arbeitsstellen auf Autobahnen durch Literaturanalysen weiter einzuschränken (AP 5.1) und an kritischen Punkten eine Auswahl von Testfeldern zu definieren (AP 5.2). Darauf aufbauend ist die detaillierte Einteilung der AID in mehrere Sektionen je Abschnitt vorzunehmen.

Welche Arbeitsstelleneinrichtungen bzw. -bereiche für die späteren Verkehrsanalysen von besonderem Interesse sind wird ausführlich in Kapitel 4.5.1 (Grundlagenrecherche AID) vorgestellt. Die Erkenntnisse bilden die Basis für die Auswahl der Testfelder.

Ergebnisse GETRASOL

i. Teilaspekt 1: Anwenderforderungen zur verkehrstechnischen Analyse

Wesentlich ist bei IT-Systemen vor deren Erstellung die Definition von Anwenderforderungen, d.h. die Zielvorgabe welche funktionalen Aufgaben das System erfüllen muss. Diese wurden bereits im Rahmen der Vorhabensbeschreibung für den Forschungsantrag auf abstrakter Ebene vordefiniert und auch der Aufgabenteilung zwischen den Konsortialpartner isac und GETRASOL zugrunde gelegt.

Im Rahmen der Bearbeitung des Projekts wurden diese weiter konkretisiert und im AP 1 von GETRASOL mit Fokus auf die verkehrstechnische Analyse ausgearbeitet.

Dabei wurden ausgehend von den Erfahrungen aus herkömmlichen Optimierungen die Anforderungen auf die praktische Anwendbarkeit des Verfahrens ausgerichtet.

Für den Demonstrator „Zuflussregelungsanlagen“ sind dabei folgende Aspekte zu beachten (Idealvorstellungen, Erprobung und Verifikation im Laufe des Projekts!):

- Abdeckung des relevanten Bereichs mit kontinuierlicher Analysemöglichkeit des Verkehrsablaufs nachfolgender, funktionaler Gliederung:
 - Hauptfahrbahn (incl. Beschleunigungstreifen)
 - vor der Einfahrt (ca. 50m)
 - gesamter planmäßiger Verflechtungsbereich der Einfahrt
 - nach der Einfahrt (ca. 50m)

- Zufahrtsrampe
 - Haltelinie mit mindestens 50m Vorlauf
 - Beschleunigungsbereich von der Haltelinie der ZRA bis Beginn des Verflechtungstreifens
- Rückstauraum und Vorlauf
 - Bereich der Zufahrt ab 50m von der Haltelinie gegen die Fahrtrichtung bis zum Übergang in das nachgeordnete Netz
 - Zulauf aus dem nachgeordneten Netz in die Zufahrt
- Extraktion der Fahrstreifenlage im gesamten relevanten Bereich:
 - Abbildung der Fahrstreifensituation als Lageplan mit Differenzierung der relevanten Markierungstypen
 - Fahrbahnrandmarkierung
 - Blockmarkierung
 - Leitlinien incl. Sonderformen
 - Haltelinie der ZRA
 - Maßstäbliche, entzerrte virtuelle Abbildung in hinreichender Genauigkeit (die gesondert zu definieren bleibt)
 - Ermittlung des Längsneigungsverlaufs je Fahrstreifen in Fahrtrichtung
- Erfassung aller Fahrzeuge als 3D-Fahrlinien
 - Unterscheidung in mindestens zwei Fahrzeugklassen in Anlehnung an die Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen (Pkw-ähnlich/Lkw-ähnlich) bzw. mindestens in zwei Längensklassen
 - Erzeugung räumlich und zeitlich kontinuierlicher 3D-Fahrlinien für den relevanten Bereich im Sinne von Trajektorien der Einzelfahrzeuge als Basis der verkehrstechnischen Analyse
- Ermittlung aggregierter Kennwerte für den jeweiligen Analysezeitraum einer ZRA
 - Verkehrsbelastung in geeignetem Intervall (i.d.R. je Minute) je Fahrstreifen
 - Geschwindigkeiten in geeignetem Intervall (i.d.R. je Minute) je Fahrstreifen
 - Auslastung der Fahrstreifen der Hauptfahrbahn (Verteilung)
 - Häufigkeit und Charakteristika von Fahrstreifenwechseln im Analysebereich
- Systematische, vektorielle Analyse der 3D-Fahrlinien
 - Zerlegung in einen Anteil in Achsrichtung des Fahrstreifens sowie einen Anteil senkrecht dazu

- Differenzierung der 3D-Fahrlinien (längs und quer) als Trajektorien des Weges über die Zeit nach der Zeit (i.e. Ermittlung der Geschwindigkeiten) mit Analyse von Mittelwert und Dynamik im Analysebereich
- Differenzierung der Geschwindigkeitsvektoren (längs und quer) nach der Zeit (i.e. Ermittlung der Beschleunigungen) mit Analyse von Mittelwert und Dynamik
- Ermittlung von für die Optimierung der Steuerungslogik nach ALINEA NRW [Straßen.NRW, 2008] wesentlichen Kenngrößen, wie insbesondere der Belegung auf der Hauptfahrbahn stromab der Einfahrt und Analyse von deren Korrelation mit den Geschwindigkeiten, nach Fahrstreifen getrennt

ii. Teilaspekt 2: Technische Schnittstelle für 3D-Fahrlinien

Aus Gründen der Gewährleistung der Interoperabilität und auch der Arbeitsteilung zwischen den Konsortialpartnern sowie der Bereitstellung an Dritte empfiehlt sich ein streng modularer Aufbau der im Rahmen von DROVA zu entwickelnden Methodik.

Nach KHAN ET AL., 2016 wird für den Aufbau eines Frameworks für drohnenbasierte Verkehrsanalyse ausgehend von einer Literaturanalyse folgende Gliederung (ausgehend von der Definition der verkehrstechnischen Fragestellung) empfohlen:

- Drohnenblock
 - Flugplanung
 - Flugdurchführung
 - Datenerhebung
- Softwareblock
 - Datenanalyse
 - Dateninterpretation
 - Optimierung (der verkehrstechnischen Fragestellung)

Dieser Gliederung wird inhaltlich in DROVA für den Demonstrator ZRA gefolgt. Die Arbeitsschritte sind bereits in der Vorhabensbeschreibung gedanklich verankert, wenn sie auch nicht mit den identischen Begriffen bezeichnet wurden.

iii. Teilaspekt 3: Definition Aufbau von Demonstratoren für die Analyse

Hinsichtlich des Aufbaus der Demonstratoren wurde unter Einbeziehung des assoziierten Projektpartners Straßen.NRW, Verkehrszentrale NRW geklärt, dass der Praxisbezug für die spätere Anwendung der Methodik von zentraler Bedeutung ist.

Dabei sind Restriktionen aus der Drohnenverordnung zu beachten, welche die möglichen Startorte und Flugbereiche erheblich einschränken. Dies betrifft z.B. Wohnbebauungen die in den Ballungsräumen von NRW oft auch im Umfeld der Autobahnen gelegen ist, aber

auch Einschränkungen durch z.B. Hochspannungsleitungen oder Wald welcher die Sicht verdeckt.

Neben den theoretischen Vorüberlegungen wurde mit den Vertretern der Verkehrszentrale NRW vereinbart, dass die praktischen Anforderungen an den Aufbau von Demonstratoren für Zuflussregelungsanlagen über Probeflüge und -beobachtungen an für den Betreiber fachlich interessanten Anschlussstellen erfolgen muss.

Nachdem die Freigabe des Nachunternehmers Sky-High-Views GbR erst gegen Ende November 2017 erfolgt war, konnten wegen schlechtem Flugwetter in 2017 keine Probeflüge mehr zur weiteren Abstimmung der Demonstratoren durchgeführt werden.

Die Flüge wurden dann zu Beginn 2018 aufgenommen und wie zunächst von GETRASOL und dann im Laufe des Jahres vom Partner isac inhaltlich vorgegeben durch Sky-High-Views GbR im Unterauftrag von GETRASOL abgewickelt.

iv. Teilaspekt 4: Verwendung öffentlich verfügbarer Vermessungsdaten

Es wurde festgestellt, dass die Nutzbarkeit öffentlich verfügbarer Vermessungsdaten eng mit der Kalibrierungsmethode der Bildauswertungstechnologie verknüpft ist. Die fachliche Klärung hat ergeben, dass diese nur zur Qualitätssicherung im Sinne einer Plausibilitätskontrolle herangezogen werden können (siehe dazu AP 3.3).

4.2 AP 2 – Bildverarbeitung

Im zweiten Arbeitspaket wird im Vorfeld einer technischen Umsetzung eruiert, welche Anforderungen an die Aufnahmen und Auswertungen der Verkehrsdaten durch die gewählten Beispielszenarien bzw. die adressierten Anwender der Verfahren an die Auswertemethodik gestellt werden.

4.2.1 AP 2.1 – Bildverarbeitung – Konzeption des Auswerte-Frameworks

Für die Konzeption des Auswerteframeworks sind folgende Thesen herausgearbeitet worden, die hauptsächlich die weitere Planung bestimmt haben:

- Die Anwendung muss nicht echtzeitfähig sein. Somit können einige Verfahrensschritte auch außerhalb des Hauptframeworks (C++) ausgeführt werden.
- Die Stabilisierung ist ein zeitaufwendiger Schritt, der vor dem Arbeitsschritt der Kalibrierung stattfinden muss. Somit ist es nicht sinnvoll, diesen in die Bildverarbeitungspipeline zu integrieren, da diese unterbrochen werden müsste um die Kalibrierung durchzuführen. In Folge dessen wird die Stabilisierung als eigene Pipeline entworfen.
- Für die Vereinfachung der Projektarbeit wurde ebenfalls beschlossen, ein einfaches Tool zu erstellen, welches mit einer abgeschlossenen Kalibrierung ermöglicht, manuelle Verkehrsdaten anzulegen. Dies verschafft der Automatisierung des Prozesses eine Verlängerung bis zur Fertigstellung und erschafft ebenso Ground-Truth-Daten, die einen Vergleich der automatisierten Daten mit den händisch angelegten Daten als „bestmögliche Auswertung“ erlaubt.
- Die Auswertekomponenten der Stabilisierung und Kalibrierung werden, aufgrund von bestehenden Vorentwicklungen, vollständig in dem Programm Matlab geschrieben werden.
- Die Videodaten, die verwendet werden, müssen keine spezielle räumliche oder zeitliche Auflösung haben. Je hochauflösender jedoch die Daten in alle Dimensionen sind, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, präzise Mikroverkehrsdaten auf möglichst langen Streckenabschnitten extrahieren zu können. Auflösung und Framerate sind somit zu maximieren, mit einer Fokussierung auf die räumliche Auflösung.

Das Auswerteframework, das eingesetzt wird, nachdem erfolgreich eine Kalibrierung implementiert wurde, muss folgende Eigenschaften besitzen:

- Eine generische Aufeinanderfolge von Tools, dessen Gesamtsystem modular aufgebaut ist, sodass einzelne Arbeitsschritte einfach ersetzt werden können.
- Die Tools basieren auf einer gemeinsamen Datenklasse und verwenden die gleichen Objektklassen zur Übertragung von Informationspaketen untereinander.
- Um den Rechenaufwand, auch ohne Echtzeitfähigkeit, im Rahmen des Erträglichen zu halten, wird das Framework in C++ entwickelt. Dazu wird hauptsächlich auf die Bildverarbeitungsbibliothek OpenCV sowie die Boost-Bibliothek gesetzt. Zusätzliche Pakete werden für Sonderfunktionen benötigt (z.B. MySQL für die Datenbankbindung oder PCL für die Verwendung von Punktwolken).

- Die Toolkette ist folgendermaßen geplant:
 - Eingangstool: Einlesen der stabilisierten Drohnenvideos (Bild für Bild), möglichst in verschiedenen Formaten.
 - Vorverarbeitungstool: Hintergrundextraktion, DistanceTransform, Kantenextraktion, Resizing, morphologische Operationen
 - Kalibrierungstool: Anwendung der vorher erstellten Kalibrierung auf die vorhandenen Daten
 - Detektionstool: Erstes Finden von Fahrzeugen im Bild unter Verwendung von 3D-Silhouetten der möglichen Fahrzeugklassen und unter Beachtung verschiedenen Geschwindigkeiten sowie verschiedener Positionen.
 - Trackingtool: Verfolgung der Fahrzeuge mit Hilfe eines Partikelfilters
 - Ausgangstool: Darstellung des Trackings zum Debugging und zur Live-Verfolgung der Analyse

4.2.2 AP 2.2 – Bildverarbeitung – Globale Kamerakalibrierung

Stabilisierung der Videoaufnahmen:

Die Stabilisierung ist der erste wichtige Schritt in der Videoverarbeitung. Obwohl die zur Aufnahme verwendete Drohne eine eigene Flug-Stabilisierung verwendet, gibt es im Video dennoch im Laufe der Zeit leichte Bewegungen, die sich nicht verhindern lassen. Um diese Bewegungen auszugleichen und ein komplett stabilisiertes Video zu erhalten, in dem jeder Pixelpunkt zu jeder Zeit dem gleichen Punkt im 3D-Raum entsprechen kann, wurden folgende Schritte unternommen:

In einem ersten Schritt werden Merkmale aus dem ersten aufgenommenen Bild extrahiert. Dazu wurden verschiedene Methoden der Merkmalsextraktion miteinander verglichen, darunter:

- FAST Merkmale (Fusing points and lines for high performance tracking)
- Brisk Merkmale (BRISK: Binary Robust invariant scalable keypoints)
- Harris Merkmale (A Combined Corner and Edge Detector)
- SURF Merkmale (SURF: Speeded Up Robust Features)
- Eigen Merkmale (Good features to track)

Da die Anwendung nicht echtzeitfähig sein muss fiel die Entscheidung für die Merkmalsextraktion in diesem Fall trotz längerer Laufzeit auf die *SURF Merkmale*, da diese die besten Resultate erbrachten. Damit diese Entscheidung nicht auf der subjektiven Wahrnehmung der Güte des stabilisierten Videos beruht, wurde ein Evaluierungstool geschrieben. Dieses nimmt als Eingang ein stabiles Video (Aufnahme mit Stativ vom Dach des Gebäudes) und gibt eine ganze Serie von Videos heraus, denen auf fest definierte Art und Weise Instabilitäten injiziert wurden. Mit Hilfe dieser Videos lassen sich die getesteten Methoden in ihrer Fähigkeit bewerten, die Instabilitäten zu extrahieren und auszugleichen.

Dabei konnten die Methoden verglichen, aber auch innerhalb der Methoden verschiedenen Parameterkonstellationen bewertet werden.

Im zweiten Schritt wurden auch in den nachfolgenden Bildern auf die gleiche Weise Merkmale extrahiert. Anschließend wurden die Merkmale aus dem ersten Bild jeweils zu den Merkmalen aus den anderen Bildern gewandelt (Fast Matching of Binary Features). Das Matching erlaubte es anschließend, die Verschiebung zwischen den beiden Bildern zu bestimmen und dazu eine projektive Transformation zu bestimmen. Diese erlaubte wiederum, jedes neue Bild so zu drehen, dass es so wie das erste aufgenommene Bild im 3D-Raum steht. In Folge dessen wurde das Video stabilisiert.

An dieser Stelle ist festgestellt worden, dass viele der gefundenen Merkmale abseits der Straße liegen, da die Drohne verständlicherweise auch noch viele andere Dinge aufnimmt wie z.B. Bäume, Wiesen oder Häuser. Dies kann zu Beeinträchtigungen führen, wenn die Stabilität der aufgenommenen Straße darunter zu leiden beginnt. Da aber nur die Stabilität des Bildausschnittes wichtig ist, auf dem sich die Straße befindet, waren zusätzliche Arbeitsschritte erforderlich. Dazu wird aus dem vorerst stabilisierten Video zuerst ein Hintergrundbild (Abbildung 8) erzeugt, indem über alle verfügbaren Bilder gemittelt wird. Dies bewirkt eine Filterung, sodass nur noch die statischen Elemente im Bild zurückbleiben, also die Straßen und Umgebung, nicht aber die Fahrzeuge.

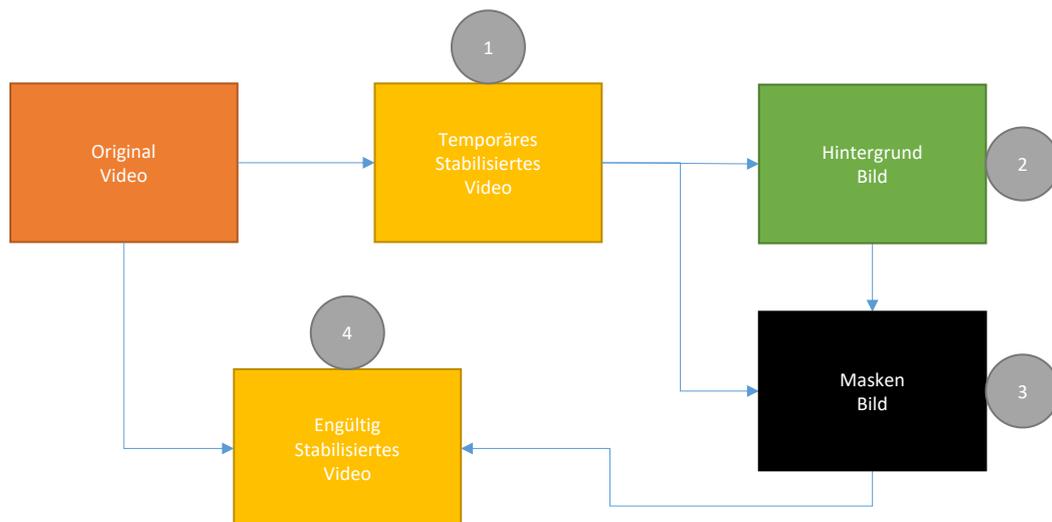


Abbildung 8: Stabilisierung PipeLine [isac, 2018]

Auf diese Weise konnte ebenfalls eine sogenannte Activity-Map (Abbildung 9) erzeugt werden, indem durch Subtraktion des Hintergrundbilds nur noch die dynamischen Elemente in jedem Bild zurückblieben.

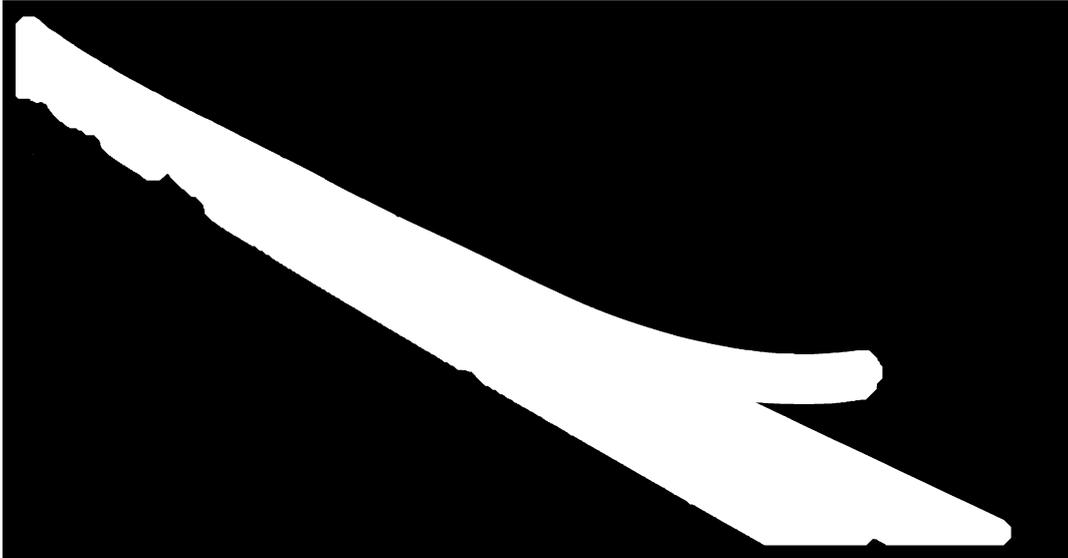


Abbildung 9: Activity-Map des Drohnenvideos [isac, 2018]

Zusammengefasst über alle Bilder entsteht, wie in Abbildung 10 zu sehen, ein Maskenbild, das genau den Bereich der Straße abdeckt. Sobald dieses zur Verfügung steht, kann der Stabilisierungsprozess erneut durchgeführt werden. Diesmal wird er aber nur mit Merkmalen, die auch tatsächlich im Bereich der Straße liegen. So entsteht eine Stabilisierung, die nur in den Bereichen greift, die Stabilisierung benötigen. Die gesamte Pipeline ist in Abbildung 8 dargestellt.



Abbildung 10: Maskenbild des Straßenabschnittes [isac, 2018]

Kalibrierung – Interface:

Um aus den erstellten Video Mikroverkehrsdaten extrahieren zu können, wird eine Transformation aus Bildkoordinaten (u, v) zu 3D-Weltkoordinaten benötigt. Diese Transformation benötigt zum einen Kamera-Parameter (intrinsische Parameter) und zum anderen Aufnahme-Parameter (extrinsische Parameter).

Die intrinsischen Parameter müssen für jede verwendete Kamera nur ein einziges Mal bestimmt werden. Da in diesem Projekt nur eine Drohne verwendet wird, wäre die Automatisierung der Auswertung unnötiger Mehraufwand. Stattdessen wurde die Berechnung der internen Kameraparameter halbautomatisch mit der Open-Source-Software OpenCV durchgeführt.

Die extrinsischen Parameter müssen für jede Aufnahme neu bestimmt werden, da die Transformation von Bild zu Raumkoordinaten immer eine andere ist. Für die Akquise der Parameter wurde eine graphische Benutzeroberfläche auf Basis des Guide-Tools von Matlab entwickelt. Dabei wurde viel Zeit aufgewendet, um die GUI sowohl generisch zu halten als auch ein hohes Maß an Benutzerfreundlichkeit zu erzeugen. In der GUI sind folgende Funktionalitäten für den Benutzer implementiert:

- Bilder laden (meistens die Hintergrundbilder aus der Stabilisierung)
- Intrinsische und extrinsische Parameter bearbeiten
- Eine Verbindung mit der SQL Datenbank herzustellen
 - Intrinsische Parameter laden und speichern
 - Extrinsische Parameter laden und speichern
- Die Flugdaten der Drohne einlesen und automatisiert eine initiale Kalibrierung errechnen
- Ein eigenes (simples) Straßenmodell erzeugen, falls keine Punktwolke aus Drohnenflügen zur Verfügung steht
- Eine Punktwolke einladen und abspeichern
- Eine Punktwolke bearbeiten:
 - Anwendung eines Farbfilters (z.B. zur Extraktion der weißen Punkte)
 - Entrauschung (Denoising) der Punktwolke
 - Zurechtschneiden der Punktwolke
 - Resampling (Ausdünnen der Punktwolke)
- Eine Triangulation für die Straßenoberfläche erstellen
- Kalibrierung
 - Manuell durch Manövrieren der Punktwolke an den richtigen Ort im Bild

- Teilmanuell durch Auswahl zusammengehöriger Punkt in Bild und Punktwolke und anschließender automatischer Optimierung der Transformation zwischen den Punkten mit dem Levenberg-Marquardt-Algorithmus
- Vollautomatisch



Abbildung 11: Kalibrierungsinterface [isac, 2018]

Dabei läuft ein standartmäßiger Kalibrierungsvorgang mit Hilfe einer Punktwolke folgendermaßen ab (nach dem Einladen der Punktwolke und des Dohnenbildes):

- 1) Vorbereitung der Punktwolke: Muss nur einmal für jeden Untersuchungsraum geschehen. Dabei wird die Punktwolke bereinigt, nach weißen Punkten gefiltert (zur Extraktion der Markierungen) und neu gerastert (zur Verringerung der Anzahl an Punkten). Anschließend kann die Wolke abgespeichert und bei jedem weiteren Vorgang wieder geladen werden.

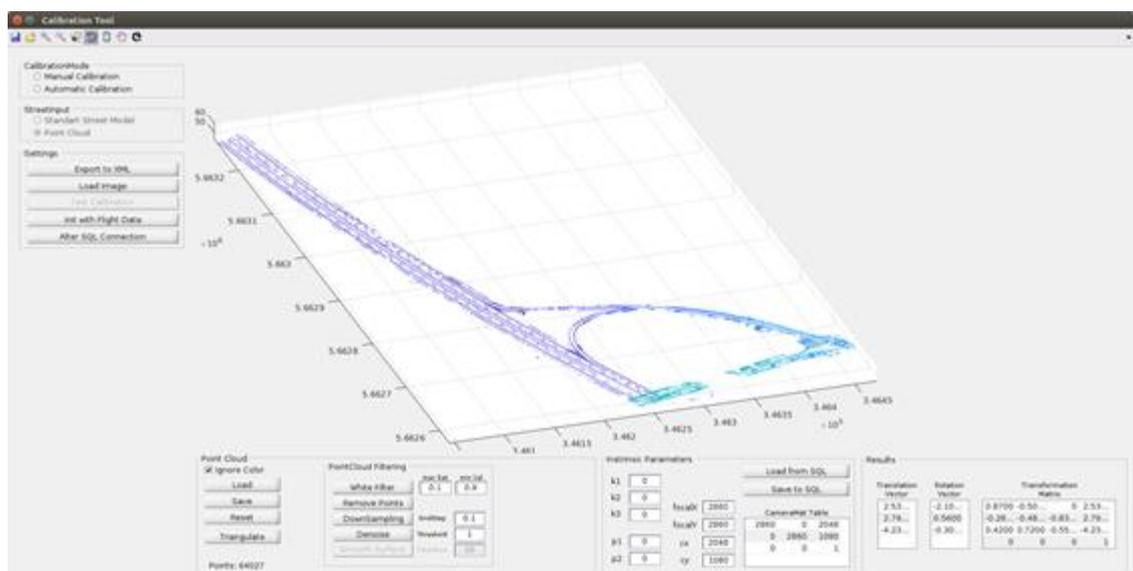


Abbildung 12: Punktwolke im Kalibrierungstool [isac, 2018]

- 2) Die Triangulation ist ebenso ein Schritt, der nur ein Mal pro Punktwolke durchgeführt werden muss. Dabei wird die Punktwolke temporär stark ausgedünnt, sodass nur noch 1000 oder weniger Punkte vorhanden sind, die die Straßenoberfläche simulieren. Anschließend wird eine Delauney Triangulation angewandt. Das Ergebnis sind eine Liste von Triangulationselementen (Dreiecke im 3D-Raum), die zusammengenommen die Straßenoberfläche beschreiben, auf der später die Fahrzeuge detektiert und verfolgt werden.

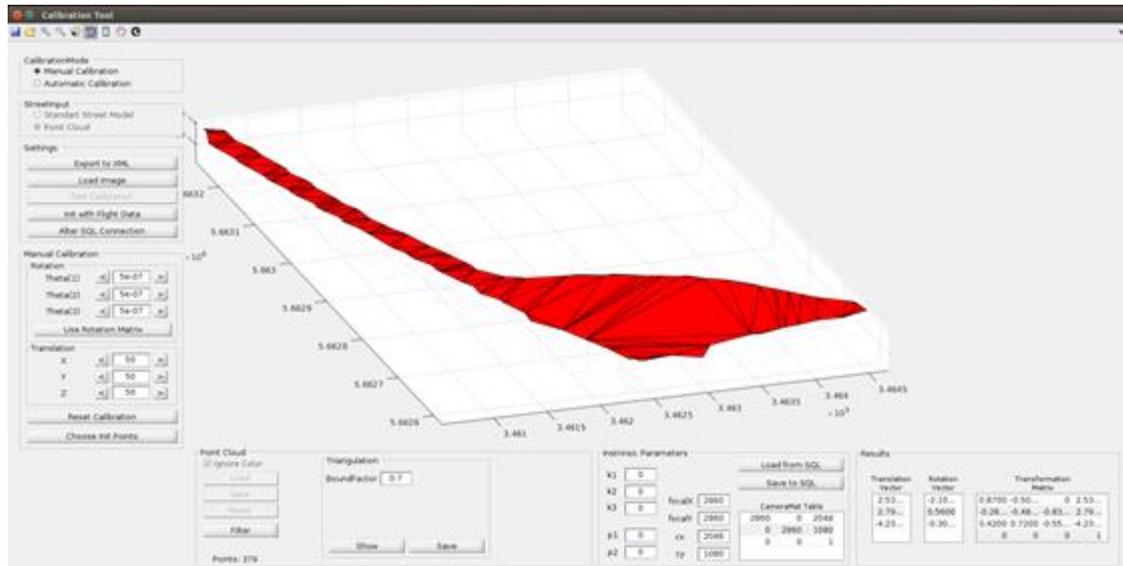


Abbildung 13: Delauney Triangulation der Straßenoberfläche [isac, 2018]

- 3) Nach dem Einladen eines Kamerabildes können die intrinsischen Kamera Parameter entweder händisch eingegeben oder unter Herstellung einer Verbindung zur SQL-Datenbank automatisch abgerufen werden.
- 4) Um eine initiale Kalibrierung zu erhalten, kann (soweit vorhanden) der Datenaufschrieb der Drohne eingelesen werden. In diesem ist niedergeschrieben, wo die Drohne zu jedem Zeitpunkt ihres Fluges sich befunden hat, in welcher Höhe, mit welcher Kameraausrichtung und ob zu diesem Zeitpunkt gefilmt wurde. Das Einlesen der Datei und die anschließende Extraktion von GPS-Koordinaten, Altitude und der Winkel (Roll, Pitch und Yaw) erfolgen automatisiert, ebenso wie die Umrechnung in UMT-Koordinaten und das initiale Ausrichten der Kalibrierung.
- 5) Mit Hilfe der initialen Kalibrierung kann der finale, automatisierte Kalibrierungsprozess angestoßen werden. Mehr Informationen hierzu finden sich im nächsten Abschnitt.

Automatische Kalibrierung:

Die Implementierung der automatischen Kalibrierungsfunktion war mit sehr viel Aufwand verbunden, sowohl in Hinblick auf die nötige Literaturrecherche als auch im Hinblick auf die Umsetzung des Programms.

Grundlegend handelt es sich um einen Optimierungsalgorithmus, der die 6 Kameraparameter, welche die Ausrichtung der Drohnenkamera im Raum beschreiben (3x Translation & 3x

Rotation), schrittweise optimiert. Die dabei angewendete Fitnessfunktion ist folgendermaßen aufgebaut.

- Aus dem Kamerabild werden die Kanten extrahiert, die im Bereich der Straße liegen (das Maskenbild aus der Stabilisierung wird zur Eingrenzung verwendet) und die möglichst zu Markierungen gehören.
- Die Punktwolke wird mit den aktuellen Parametern auf ein Bild projiziert, jeder Punkt wird zu einem Pixel im Bild.

Die Fitnessfunktion beschreibt, wie gut eine ausgewählte Konstellation von Werten mit der Realität zusammenspielt.

4.2.3 AP 2.3 – Bildverarbeitung – Ableitung geeigneter Bildmerkmale

Ein Großteil der in diesem AP aufgewendeten Zeit wurde auf die Recherche und die Implementierung verschiedener Methoden der Informationsextraktion aus den vorhandenen Videodaten verwendet. Außerdem wurde ein Vergleich der Methoden durchgeführt, sodass eine möglichst informierte Entscheidung getroffen werden kann. Diese Entscheidung wird im je nach Auswertung noch angepasst.

Den verschiedenen untersuchten Methoden vorausgehend sind unter anderem verschiedene Vorverarbeitungsschritte, die in mehreren Informationsextraktionsmethoden zum Einsatz kommen können. Dabei wurden die Methoden nicht neu implementiert, sondern lediglich auf möglichst effiziente Weise in das vorhandene Framework (Toolchain) eingebunden. Folgende Beispiele dienen dem besseren Verständnis:

- Kantenextraktion: Hier existieren sehr viele Algorithmen, die in verschiedenen Umfeldbedingungen zum Ziel führen können. Um die Software möglichst generisch zu halten, wurde sich nicht für eine Methode entschieden, sondern der User kann frei entscheiden, welche Methode er für das aktuelle Video verwendet (mit dem Sobel Filter als Default Wert).
- Morphologische Operationen: Darunter zählen die verschiedenen Operationen in der Bildverarbeitung, die es erlauben die vorhandenen Strukturen in Binär- oder Grauwertbildern zu bearbeiten. Zu den möglichen Bearbeitungen zählen ‚Erosion‘, ‚Dilatation‘ sowie die kombinierten Verfahren ‚Opening‘ und ‚Closing‘.
- Subtraktion des Hintergrunds: Im Laufe der Zeit (mehrere Bilder) entscheidet das Programm, welche Pixel zum Hintergrund gehören und welche nicht. Das Programm passt sich dabei automatisch an und lernt somit auch Veränderungen des Hintergrunds, damit zu jeder Zeit eine Extraktion von Fahrzeugen möglich ist.

Die implementierten Methoden für die Fitness-Bewertung eines Bildausschnitts (das heißt, wie wird bewertet, ob sich in einem gewissen Straßenausschnitt bzw. Bildausschnitt ein Fahrzeug einer bestimmten Klasse befindet) sind folgende:

- Distance-Transform: Aus dem Kantenbild werden die Punkte herausgesucht, die den Umriss eines Fahrzeugs einer bestimmten Klasse ausmachen. An diesen Punkten wird evaluiert, wie der Abstand zur nächsten Linie im Kantenbild ist. Die Summe der Entfernungen normiert auf die Anzahl der Punkte ergibt einen Wert, der aussagt, wie gut ein Umriss auf das vorhandene Kantenbild passt.
- Optical Flow: Hierbei werden immer zwei Bilder hintereinander herangezogen und es wird die Veränderung von extrahierten Merkmalen (SURF, FAST, SIFT) berechnet. Diese Veränderung entspricht dem optischen Fluss im Bild. An den entsprechenden Stellen im Bild kann somit ermittelt werden, ob sich dort ein sich bewegendes Objekt (mit einer plausiblen Geschwindigkeit) befindet oder nicht.
- 2D Korrelation: Hierbei geht es um das Wiedererkennen eines Fahrzeugs. Nach der ersten Detektion wird ein Bild des Fahrzeugs gespeichert. Anschließend kann das Fahrzeug über eine 2D-Korrelation des ersten Bildes mit einer vergrößerten Version des zu analysierenden Teilbilds wiedererkannt werden.
- Neuronales Netz: Hierbei wird ein neuronales Netz (verschiedene Architekturen können verwendet werden) darauf trainiert, zwischen Fahrzeugklassen zu unterscheiden und die Entscheidung zu treffen ob sich dort überhaupt ein Fahrzeug befindet oder nicht.

4.2.4 AP 2.4 – Bildverarbeitung – Detektions- und Trackingalgorithmen

Der Detektionsalgorithmus stellt die zentrale Herausforderung für die automatische Auswertung dar. Hier wurden im ersten Schritt eine große Menge an manuellen Daten durch studentische Hilfskräfte angelegt. Diese Daten konnten anschließend bereits in Kombination mit dem Tracking für eine Auswertung von ersten Datensätzen verwendet werden.

Außerdem wurden die erstellten Daten verwendet, um damit ein neuronales Netz zu trainieren, mit dem die Klassifizierung und Detektion der Fahrzeuge voll automatisiert wird. Hier wurde viel Mühe in die Verfeinerung und Optimierung der Daten gesteckt sowie in die Auswahl des richtigen neuronalen Netzes. Es besteht allerdings noch massiver Optimierungsbedarf bei der Detektion der Fahrzeuge, weswegen bei der Auswertung der Demonstratoren voraussichtlich vor allem auf die manuelle Detektion zurückgegriffen wird.

Nachdem die Fahrzeuge bei der Einfahrt ins Videobild detektiert und klassifiziert worden sind, können sie über ein physikalisches Modell und einer Hypothesen Erstellung und Verifizierung über den Verlauf der Straße verfolgt werden. Die Verfolgung hängt sehr stark von den ermittelten Merkmalen in AP 2.3 ab und auch hier können viele Fehler auftreten. Besonders verdeckte Bereiche (PKW fährt hinter LKW oder unter Brücke) erzeugen Fehler.

4.2.5 AP 2.5 – Bildverarbeitung – Softwaretechnische Umsetzung

Die Umsetzung der erarbeiteten Algorithmen (teilweise in C++, teilweise in Matlab) und die zugehörige Fehlerbeseitigung weisen trotz hohem Zeitaufwand nur einen sehr geringen Berichtsinhalt auf. Alle Bildverarbeitungsschritte, Kommunikation mit äußeren Instanzen (SQL Datenbank, User), Algorithmen für Detektion und Tracking wurden umgesetzt und getestet. An vielen Stellen mussten im Laufe der Zeit Fehler behoben und Optimierungen durchgeführt werden. Durch die hohe Komplexität der Software kam es zu einer ganzen Reihe an Iterationen mit AP 2.6, in denen große Teile der Software optimiert wurden.

4.2.6 AP 2.6 – Bildverarbeitung – Validierung

Die Umsetzung der Software und die Erzeugung der Verkehrsdaten benötigen einen hohen Grad an Validierungen in verschiedenen Stufen um ein Ergebnis erzielen zu können, mit dem Sicherheitsindikatoren berechnet werden können. Die beiden maßgeblichen Stufen sind die visuelle Bewertung sowie der Abgleich mit erzeugten Ground-Truth Daten. Die visuelle Bewertung wurde maßgeblich dafür verwendet, grobe Abweichung zu erkennen (die Detektion erkennt Fahrzeuge wo keine sind, das Tracking verfolgt das Fahrzeug falsch, etc.). Der Abgleich mit Ground-Truth Daten bietet die Chance der Optimierung in Präzision und Genauigkeit der erzeugten Daten. Beide Methoden wurden in diesem AP angewendet. Es lassen sich jedoch nicht wie erwartet exakte quantitative Genauigkeiten ableiten. Es wurde berechnet, dass im Schnitt über alle Demonstratoren 95% aller Fahrzeuge korrekt erfasst und verfolgt wurden. Diese Zahl entspricht der Sensitivität. Jedoch ist diese Sensitivität sehr variabel über die verschiedenen Demonstratoren und ebenfalls über verschiedene Aufnahmezeiträume. Große Faktoren sind hier die Sichtlinie, mögliche Verdeckungen durch anderen Fahrzeuge und durch Gebüsch, Licht bzw. Schattenbildungen auf der Fahrbahn, die Windgeschwindigkeit bei Aufnahme (die Stabilisierung hat ebenfalls Grenzen) und einige weitere Einflussgrößen. Es bedarf weiterer Forschung um diese Faktoren effizient in den Griff zu bekommen, der Umstieg auf kontinuierlich lernende Algorithmen sollte hier einen großen Vorteil erbringen.

4.3 AP 3 – Datenmanagement

Zur Beschreibung des Verkehrs werden einerseits Einzelfahrzeugdaten durch die Auswertung des Videomaterials mit den genauen Positionsangaben und der Klassifikation der Fahrzeuge ermittelt (Kapitel 4.3.1). Andererseits werden die Verkehrsdaten aus den entsprechenden Messquerschnitten des Landesbetriebs Straßen.NRW (Straßen.NRW) angefordert und ausgewertet (Kapitel 4.3.2). Die wesentlichen Herausforderungen bestehen in der Ableitung von Fahrzeugtrajektorien aus Videos und in der Verschneidung von mikroskopischen und makroskopischen Verkehrsdaten.

In Bezug auf den Fahrraum ist ein digitales Abbild des Streckenabschnitts zu erstellen, der die Straßen fahrstreifenbezogen getrennt nach dauerhafter und temporärer Verkehrsführung beschreibt. Die genaue Methodik wird in Kapitel 4.3.3 erläutert.

Im Rahmen des Datenmanagements wird im Sinne der einer verständlichen Nachnutzung der generierten Daten zusätzlich ein Datenmanagementplan (DMP) als separates Dokument aufgebaut. Darin sind explizit alle Vorgänge und Informationen zu der Aggregation von Daten, deren Weiterverarbeitung und Speicherung der Datensätze inklusive deren Metainformationen und Plattformen, sowie die Strategie zur Veröffentlichung von Roh- und Ergebnisdaten aufgeführt. Der DMP wird dem aktuellen Sachstandsbericht beigelegt.

4.3.1 AP 3.1 – Datenmanagement – Rohdaten, Vektordaten

Im Laufe des Projekts wird eine Datenbank aufgebaut, über die sämtliche Rohdaten bezogen und weiterverarbeitete Daten gespeichert bzw. wiederum abgerufen werden können.

Die Datenbank ist so aufgebaut, dass die Positionsdaten der Fahrzeuge im UTM-Koordinatensystem, der Messzeitraum (Zeitstempel) und das verwendete Messinstrument (hier: Drohnenkamera) in der Datenbank abgelegt werden. Ebenfalls werden die Fahrzeuge anhand der Umhüllenden klassifiziert (siehe DMP).

In diesem AP wurden Matlab Funktionen implementiert, die die Schnittstelle zwischen der Datenbank und der Auswertesoftware Matlab abbilden, sodass mit ihrer Hilfe die Daten aus der Datenbank effizient ausgelesen werden können. Hierbei wurden weitere Funktionen geschrieben, die die Rohdaten in einer für die Verkehrsanalyse sinnvolle Datenstruktur bringen und die Fusion der Fahrzeugdaten mit den Infrastrukturdaten ermöglichen. Außerdem wurde eine Matlab Toolbox entwickelt, mit der die mikroskopische Verkehrsanalyse durchgeführt werden kann.

4.3.2 AP 3.2 – Datenmanagement – Verkehrsdaten

In AP 3.2 sind makroskopische Verkehrsdaten auf Basis von 1-Minuten-Intervallen anzufragen und in die Verkehrsanalysen mit einzubeziehen.

Die Verarbeitung von makroskopischen Verkehrsdaten wurde nach dem neuen Arbeitsplan in dem Jahr 2019 getrennt für die Demonstratoren AID und ZRA durchgeführt. Der erste Ansatz die Datenzugänge für Schleifendaten aus den Messquerschnitten (MQ) von Straßen.NRW über das MDM-Portal anzufragen ist dabei nicht erfolgreich gewesen. In dem Portal können zwar die geografischen Koordinaten jedes MQ abgerufen und die aggregierten Verkehrsdaten

bezogen werden. Dabei hat sich jedoch herausgestellt, dass die Verkehrsdaten jede Minute aktualisiert werden und kein Zugriff auf historische Daten möglich ist. Um eine extra Schnittstelle zu dem MDM-Portal – wie sie für Echtzeitanalysen notwendig wäre – zunächst zu vermeiden, ist der Kontakt zu dem mFund-Projekt ROSY aufgenommen worden. Die vollständigen Datensätze sind dann aber über die Bedienstation in der Verkehrsleitzentrale von Straßen.NRW in Leverkusen abgerufen worden.

Für die Demonstratoren AID sind hierfür für alle Tage an denen Drohnenflüge durchgeführt worden sind an den jeweiligen Streckenabschnitten die MQ vor und nach der AID fahrstreifengenau abgefragt worden. Der Datenumfang ist der nachfolgenden Tabelle 1 zu entnehmen.

Lfd. Nummer	Demonstrator	Datum	Betroffene MQ
1	BAB 1 Burscheid - Wermelskirchen	07.05.2018 27.06.2018	mq.MQ_1.007_HFB_SW mq.MQ_1.007_ZU_SW_R mq.MQ_1.008_HFB_SW mq.MQ_1.009_HFB_SW mq.MQ_1.010_HFB_SW mq.MQ_1.010_AB_SW_R mq.MQ_1.009_HFB_NO mq.MQ_1.010_ZU_NO_R mq.MQ_1.010_HFB_NO mq.MQ_1.008_HFB_NO mq.MQ_1.007_HFB_NO mq.MQ_1.007_AB_NO_R
2	BAB 46 Haan-Ost - Wuppertal-Cronenberg	31.07.2018 26.10.2018 14.01.2019 21.01.2019 25.02.2019 01.03.2019 24.03.2019 26.03.2019 13.05.2019 22.05.2019 27.05.2019 29.05.2019	mq.MQ_46_14c_HFB_SW mq.MQ_46_14c_ZU_SW_L mq.MQ_46.140_AB_SW_R mq.MQ_46.140_HFB_SW mq.MQ_46.140_HFB_NO mq.MQ_46.140_ZU_NO_R mq.MQ_46_15_HFB_NO mq.MQ_46_15a_HFB_NO mq.MQ_46_15a_AB_NO_R
3	BAB 43 Witten-Herbede - Sprockhövel	08.05.2018 29.06.2018 31.07.2018 26.02.2019	mq.MQ_A43.0070_HFB_NO mq.MQ_A43.0070_HFB_SW
4	BAB 61 Bedburg - Jackerath	03.07.2018	mq.MQ_61.190_ZU_NO_R mq.MQ_61.190_HFB_NO mq.MQ_44.230_HFB_NO mq.MQ_61.190_AB_SW_R mq.MQ_61.190_HFB_SW mq.MQ_44.230_ZU_SW_P mq.MQ_44.230_ZU_SW_R mq.MQ_44.230_ZU_NO_P mq.MQ_44.230_AB_NO_L mq.MQ_44.230_HFB_SW
5	BAB 565 AS Bonn-Beuel	13.05.2019 14.05.2019 15.05.2019 21.06.2019	mq.MQ_59.365_ZU_SW_R mq.MQ_59.365_AB_SW_R mq.MQ_59.365_ZU_NO_L mq.MQ_59.365_AB_NO_L
6	BAB 2 AS Kamen-Bergkamen	16.05.2019 23.05.2019 14.06.2019 03.07.2019	mq.MQ_A2.4181_HFB_NO mq.MQ_A2.4136_HFB_NO mq.MQ_A2.4181_HFB_SW mq.MQ_A2.4136_HFB_SW

		mq.MQ_A2.4211_HFB_SW mq.MQ_A2.4225_HFB_SW mq.MQ_A2.4241_HFB_SW
--	--	--

Tabelle 1: Angefragte Schleifendaten bei Straßen.NRW [Stand: Juli 2019]

Zur Auswertung der makroskopischen Verkehrsdaten ist am isac eine GUI aufgebaut worden, welche die Ganglinien der Verkehrsstärke und der Geschwindigkeit auf Basis der Schleifendaten von Straßen.NRW visualisiert. Zu den Zeiträumen, bei denen Drohnenflüge erfolgt sind, können somit die Verkehrsdaten abgefragt werden und als zusätzliche Einflussgröße in die Analyse des Verkehrs einbezogen werden.

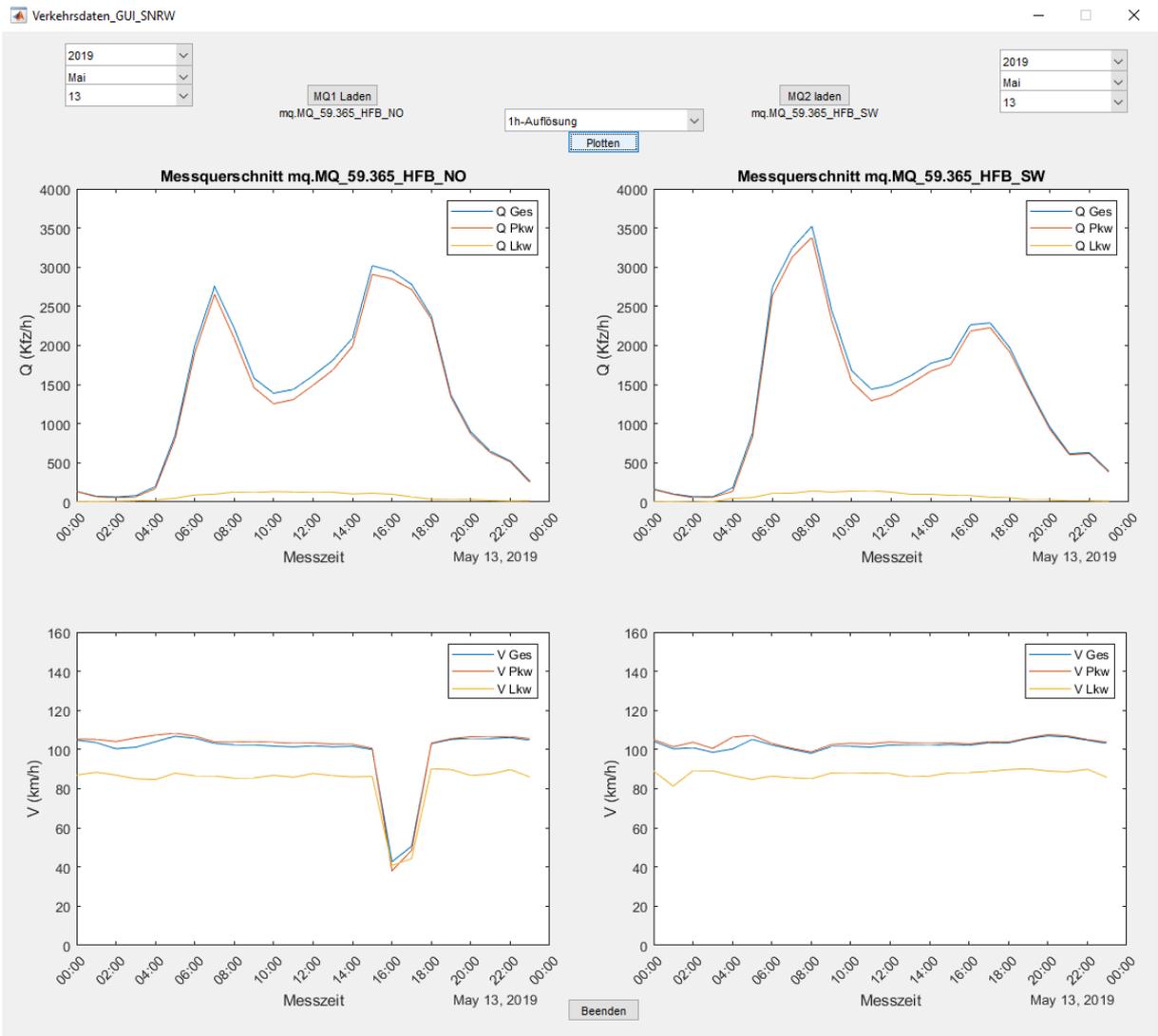


Abbildung 14: isac-GUI für die Auswertung von Schleifendaten

In Abbildung 14 sind für die AID in Bonn-Beuel die Hauptfahrbahnen in Südwest und Nordost gegenübergestellt worden. Ersichtlich daraus sind unter anderem die unterschiedliche Ausprägung der Verkehrsstärke über den Tagesverlauf und der deutliche Einbruch der Geschwindigkeit um 16 Uhr in der Fahrtrichtung Nordost.

Die makroskopischen Verkehrskenngrößen sollen bei der Analyse des Verkehrsablaufs und der Verkehrssicherheit zusätzlich berücksichtigt werden. Hierfür ist derzeit die Auswahl der

Intervallgröße von 1-min-, 15-min, und 1-Stunden-Zeitintervallen möglich. Durch eine Aggregation der Einzelfahrzeugdaten an sogenannten virtuellen Messquerschnitten (MQ) ist dann zusätzlich ein Vergleich der selber generierten Daten mit den Verkehrsdaten von Straßen.NRW möglich.

Eine Besonderheit in Bezug auf die Verschneidung von mikroskopischen und makroskopischen Verkehrsdaten ist in Bezug auf den Demonstrator ZRA zu beachten. Da die Steuerungsverfahren auf lokal erfassten, nach den Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen [TLS, 2012] definierten Datenstrukturen und in Intervallen aggregierten Daten beruhen, ist für die Analyse der Bezug zwischen diesen beiden Datenarten herzustellen.

Bei den beim assoziierten Projektpartner Straßen.NRW flächenhaft (ca. 100 ZRA in Betrieb) eingesetzten Verfahren zur Steuerung von ZRA „Alinea NRW“ [Straßen.NRW, 2008] werden aggregierte Daten nach TLS [TLS, 2012] verwendet. Diese sind lokal aggregiert im Minutenintervall und fahstreifengenau erfasst, die weitere Aufbereitung findet in einem Verkehrsrechner statt. Es werden für die Steuerung speziell zu diesem Zweck eingerichtete Messstellen verwendet, die in der Regel als Doppelinduktivschleifen (Hauptfahrbahn, stromab der Einfahrt) bzw. Einfachinduktivschleifen (Zufahrtrampe) ausgeführt werden. Wesentliches Steuerungskriterium ist dabei die Belegung stromab der Einfahrt (wahlweise Hauptfahrestreifen oder arithmetischer Mittelwert aller Fahrestreifen), bei der eine „optimale Belegung“ durch Regulierung des zufahrenden Verkehrstroms auf der Einfahrtrampe erreicht werden soll. Weiterhin geht die in der Zufahrt erfasste Verkehrsmenge in die Steuerung ein.

Bei bisherigen Optimierungen der Steuerungen von ZRA konnten jedoch nach ingenieurmäßigen Verfahren [AIXtraffic, 2011] mit Vorortbeobachtungen des Zuflussbereichs per Video und Auswertungen aller erfassten Daten keine systematischen Zusammenhänge zwischen dem Verkehrsfluss auf der Hauptfahrbahn und dem Rückstau auf der regulierten Rampe abgebildet werden, da diese nicht geeignet erhoben werden konnten.

Im Rahmen der Planung der Zeitfenster für die Beobachtungsflüge von ZRA wurden durch GETRASOL an einer Bedienstation der Verkehrszentrale NRW mit Unterstützung vom assoziierten Projektpartner Straßen.NRW abgefragt und exportiert. Die hier gegenständlichen Verkehrsdaten wurden für eine Woche im April 2018 auf diesem Weg bereitgestellt und geben damit auch die typischen Strukturen wieder, in denen der Betreiber diese für den Betrieb seiner Anlagen benötigt (Rohdaten nach TLS) bzw. diese in seinen Verfahren aufbereitet (Daten des Verkehrsrechners nach Prozessierung). Bei den 2 von 7 Demonstratoren, die noch nicht mit einer ZRA ausgerüstet sind, wurden für die Voranalyse der Beobachtungszeiträume geeignete, nah gelegene Ersatz-Messquerschnitte ausgewählt.

Für die Methodik der Analyse von 3D-Fahrlinien für den Demonstrator ZRA müssen an einem geometrisch stromab der Hauptfahrbahn gelegenen Querschnitt virtuelle Messquerschnitte definiert werden, aus denen unter Berücksichtigung der Hüllmodelle der vom Partner isac bereitgestellten mikroskopischen Daten die nach TLS (2 Fahrzeugarten) generiert werden können. Dies wird durch den Partner GETRASOL nur für die Zwecke des Demonstrators ZRA vorgenommen.

Dies umfasst insbesondere fahrstreifenbezogene Aggregationen in Minutenintervallen mit Überführung in virtuelle TLS-Daten nach [TLS, 2012] mit den Attributen:

- q-Kfz (Kfz-Verkehrsstärke je Fahrstreifen, Summe je Intervall)
- q-Lkw (Lkw-Verkehrsstärke je Fahrstreifen, Summe je Intervall)
- v-Pkw (Pkw-Geschwindigkeit je Fahrstreifen, arithmetischer Mittelwert je Intervall)
- v-Lkw (Lkw-Geschwindigkeit je Fahrstreifen, arithmetischer Mittelwert je Intervall)
- b (Belegung).

Dabei ist die Algorithmik des Verkehrsrechners soweit nachzubilden, wie für die Zwecke der Parameteroptimierung und die Aufbereitung von Statistiken erforderlich. Dazu sind mindestens aus den virtuellen TLS-Daten q-Pkw und v-Kfz zu ermitteln, alternativ können diese auch direkt aus den 3D-Fahrlinien generiert werden.

Für die Zufahrt werden die den Einzelinduktivschleifen entsprechenden Werte gemäß [Straßen.NRW, 2008] aus den 3D-Fahrlinien abgeleitet, dies sind insbesondere Verkehrsstärken und für Zwecke der Reduzierung der Rotschaltzeit die Belegung.

Die Klassifikation der Fahrzeuge wird durch das isac anhand zu definierender charakteristischer Punktwolken vorgenommen, die in Anlehnung an die TLS Fahrzeuge auf Basis des jeweiligen Umrisses kategorisieren. Auf diese Weise können die Fahrzeuge z.B. in 2+1 oder 8+1 Fahrzeugklassen unterschieden werden.

Für die Steuerung von ZRA ist die Unterscheidung in 2 Klassen (Pkw-ähnlich; Lkw-ähnlich + Sonstige) vorgesehen. Nur bei der Berechnung der Belegung sind explizit alle identifizierten Fahrzeugtypen nach deren Hüllmodell zu berücksichtigen, da die Belegung der Zeit entspricht, in der ein Fahrzeug den quasi-lokale Messquerschnitt abdeckt.

Das isac stellt Fahrzeugpositionen zur Verfügung, die im Raum mit x-y-z-Koordinate als Position und zugehörigem Zeitstempel definiert und in der Datenbank mit einer Fahrzeug-ID und einem Fahrzeug-Typ versehen sind. Die Zusammenhänge der Informationen werden im DMP dargestellt. Aus den einzelnen Elementen können daraufhin die Trajektorien der Einzelfahrzeuge (auch: 3D-Fahrlinien) abgeleitet werden. Ab Herbst 2019 sind hierfür umfangreiche Untersuchungen seitens isac und GETRASOL begonnen worden, die eine möglichst realitätsnahe Abbildung des Fahrverhaltens ermöglichen. Hierbei werden Analysen ermöglicht, die das individuelle Geschwindigkeits-, Beschleunigungs- und Bremsverhalten sowie das Fahrstreifenwechselverhalten berücksichtigt.

Bei der Ermittlung der virtuellen TLS-Daten ist wesentlich, dass diese aus der Bewegung der Fahrzeuge im Lageplan über die Zeit ermittelt werden. Dazu wird für die Zwecke der Analyse beim Demonstrator ZRA auf die z-Komponente (die Höhe) der Positionen der Einzelfahrzeuge verzichtet. Stattdessen wird zur Abbildung der Bewegung im Raum in der z-Achse die Zeit verwendet. Diese modifizierten Einzelfahrzeugtrajektorien werden als 3D-Fahrlinien definiert.

Damit entspricht die virtuelle Erzeugung von TLS-Daten einem vertikalen Schnitt am Ort des (virtuellen) Messquerschnitts mit Betrachtung aller diese Schnittfläche zwischen Intervallbeginn und -ende durchdringenden 3D-Fahrlinien.

4.3.3 AP 3.3 – Datenmanagement – Kartendaten

Für das Arbeitspaket 3.3 war zunächst angedacht, Karten von den betroffenen Straßenabschnitten aus geeigneten öffentlichen Quellen zu verwenden.

Insbesondere bei den temporären Verkehrsführungen von AID ist der Bezug zu den aktuellen Regelplänen nur schwer möglich und gibt nicht vollständig die reale Einrichtung der Arbeitsstelle wieder. Oftmals werden in den Baustellenvorbesprechungen noch händisch Änderungen auf dem Papier eingefügt. Auch die auf der Straße aufgebaute Arbeitsstelleneinrichtung gibt nur annähernd den Regelplan wieder.

Auch bei den 7 Demonstratorstandorten für ZRA waren keine Bestandsvermessungsunterlagen der Markierung verfügbar, so dass die ursprüngliche Idee der Verwendung vorhandener Datenquellen verworfen werden musste.

Daher ist abweichend von der Vorhabenbeschreibung durch das isac ein Ansatz aus dem Bereich der Photogrammetrie zur Erzeugung eines virtuellen Abbildes der Straßeninfrastruktur eruiert worden. Die neue Methodik wird im Folgenden vorgestellt.

Orthofotos bzw. Fotos aus hinreichend großer Höhe als Grundlage für ein 3D-Modell:

Die Photogrammetrie ist eine Sammlung von Methoden um Bemessungen anhand von Fotografien anzufertigen. Im besonderen Fokus steht hierbei die exakte Relokalisierung von Oberflächenpunkten in einer virtuellen 3D-Umgebung. Die Lokalisierung dieser Punkte kann dabei sowohl in einem lokalen Koordinatensystem, als auch georeferenziert in einem globalen übergeordneten Koordinatensystem erfolgen.

Für die optimale Abbildung müssen möglichst viele Informationen aus verschiedenen Perspektiven vorliegen. Diese Informationen können aus den Fotografien selbst, beziehungsweise dem Abgleich mehrerer Fotografien untereinander, entnommen werden oder durch weitere Informationen wie gesondert ermittelte Passpunkte ergänzt werden. Um möglichst viele Informationen zu erhalten ist daher die Änderung der Lage der Kamera von besonderer Bedeutung. Im Idealfall sollten sowohl die horizontale als auch die vertikale Lage geändert werden und der zu erfassende Bereich in Radialbahnen umkreist werden, damit eine maximale Abdeckung gewährleistet ist.

Um ein Abbild eines Ausschnitts aus der Realität zu erhalten, werden bei der Photogrammetrie Überlagerungen aus den einzelnen Bildern genutzt. Durch die Änderung der Lage zwischen den beiden Bildern, welche überlagernde Bildbestandteile aufweisen, entsteht eine Information über die Lagebeziehung der aufgenommenen Objekte (Abbildung 15).

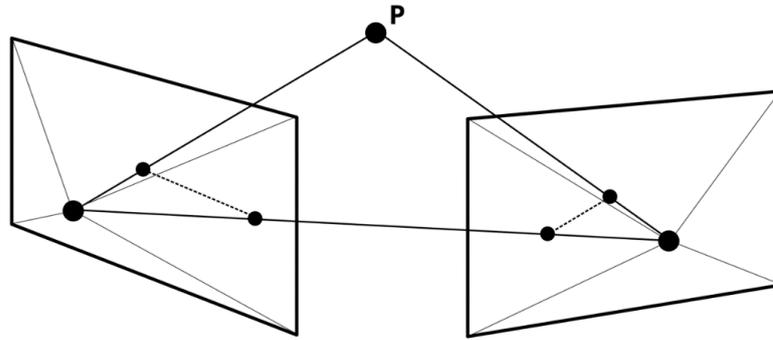


Abbildung 15: Projektion des Punktes P (Tie Point) durch zwei Perspektiven/ Kameras

Diese Verschiebung eines Objektes durch die Änderung des Betrachtungspunktes wird als *Stereoscopic Parallax* bezeichnet. Hieraus lassen sich die Abmessungen und Maße einzelner Objekte und des Betrachtungsraumes herleiten.

Anwendung:

Im Rahmen des Projektes DROVA erfolgt in einem ersten Schritt die Erfassung der Infrastruktur über ein virtuelles Abbild des realen Streckenabschnittes auf BAB mittels der vorgestellten Grundsätze aus der Photogrammetrie. Hierfür werden im Rahmen des Projektes Luftbildfotografien verwendet, welche von einem mit einer Kamera ausgestatteten unbemanntem Luftfahrzeug (Drohne) aufgenommen werden.

Mit der Drohne werden dafür Aufnahmen aus verschiedenen Lagen und Perspektiven aufgenommen. Hierfür werden die Höhen von 100 Metern, 70 Metern und 50 Metern abgeflogen, da so eine breite Abdeckung an Perspektive erreicht wird. Die Infrastruktur wird im Bereich der späteren Verkehrsanalysen längs zur Fahrbahn abgeflogen und dabei laufend Aufnahmen in den genannten Höhen erzeugt. Um Verzerrungen zu vermeiden wird die Infrastruktur beidseitig befliegen. So wird die maximale perspektivische Änderung erreicht, da die Infrastruktur nicht überflogen werden darf. Als Idealvorstellung gilt dafür, dass über die gesamte Aufnahmedauer die Brennweite nicht verändert wird, damit keine Ungenauigkeiten bei der automatischen Berechnung am Computer hervorgerufen werden. Auch das Nutzen einer Mehrfeldmessung für die Belichtungsmessung kann helfen Schwankungen in der Helligkeit zwischen den einzelnen Bildern zu vermeiden. In der Praxis werden die Aufnahmen mit einer DJI Phantom 4 Pro+ angefertigt. Die integrierte Kamera hat eine Festbrennweite und automatische Steuerung der variablen Blende und Belichtungszeit (Sichtfeld 84° 8,8 mm/ 24 mm (35 mm Format Äquivalent) f/2.8).

Die Fotografien der einzelnen Höhen und je Aufnahmeseite überlappen sich zu mehr als 60 %. Dieses Vorgehen gewährleistet eine ausreichende Bildfläche für die Wiedererkennung von Mustern mehrerer Einzelfotos. In der Drohne ist zudem ein Positionierungssystem als Grundlage der Flugsteuerung integriert, womit jedem Bild globale Positionsdaten zugewiesen werden können (Aufzeichnung als sogenannte „Flight Records“).

Die Auswertung der Flight Records der im Projekt DROVA eingesetzten Drohne vom Typ DJI Phantom 4 Pro+ hat im Abgleich mit den in den EXIF-Daten der Fotos für die Erzeugung des

Geländemodells gezeigt, dass diese fehlerhaft sind. So wurden erheblich abweichende Höhenangaben identifiziert, wohingegen die Lagekoordinaten in den EXIF-Daten der Fotos im Abgleich mit denen in den Flight Records stimmig sind. Da die von der in die Drohne integrierten Kamera in die EXIF-Tags geschriebenen Höhendaten nicht so beeinflusst werden konnte, dass diese korrekt sind und weder stets aktuelle Software-Updates noch ein Kontakt zum Hersteller hier Verbesserungen erzielen ließen, wurde eine gesonderte Aufbereitung der Daten für die Fotos des Geländemodells durch Sky-High-Views GbR (Unterauftragnehmer von GETRASOL) veranlasst.

Die weitergehende Analyse der Flight-Records durch Sky-High-Views GbR hatte gezeigt, dass diese im Gegensatz zu den Lagekoordinaten nach Kalibrierung der Flugsteuerung am Startpunkt wegen der Fortschreibung der Höhe über die Verwendung von barometrischer Höhenmessung (bzw. Differenzmessung ab Startpunkt) zu vergleichsweise ungenauen Angaben führt. Dem wird begegnet, indem für die Durchführung der Flüge bereits frühzeitig festgelegt wurde, dass immer am gleichen Punkt gestartet und gelandet werden muss. Dann wird nachfolgend bei der Aufbereitung der Flugparametrie (d.h. dem Verlauf des Fluges in 100 ms-Schritten incl. Fluglage, Kameraausrichtung etc. in den „Flight Records“) eine Ausgleichsrechnung durchgeführt.

Bei der Ausgleichsrechnung der Höhendaten wird die Höhe nach Angaben gemäß Google-Earth (1 m-Auflösung) am Startpunkt zur Startzeit ermittelt und mit der in den Flight-Records aufgezeichneten Höhe am mit dem Startpunkt identischen Landepunkt zur Landezeit verglichen. Die positive oder negative Differenz wird linear über die Flugzeit mit den Höhenangaben in den Flight-Records verrechnet.

Aus den korrigierten Höhendaten werden dann die für die Erzeugung der Geländemodelle erfassten Fotos zum Ersatz der fehlerhaften Höhenangabe in den Exif-Daten zugeordnet. Über eine Plausibilitätskontrolle in Bezug auf den Abgleich der Lagekoordinaten der Fotos (aus Exif-Daten) mit den im zugeordneten Zeitschritt erfassten Lagekoordinaten der Drohne (aus den Flight-Records) sowie Kontrollausgaben als Diagramme der Flughöhe über die Zeit wird eine Qualitätskontrolle der Aufbereitung durchgeführt.

Die Einzelfotos werden als einzelne Kameras und zusammen mit den berechneten Positionsdaten in das Programm Agisoft Metashape (früher Agisoft PhotoScan) eingepflegt. Jede Aufnahme stellt somit eine andere Perspektive und Aufnahmelage dar. Die importierten Einzelfotos durchlaufen daraufhin programmseitig einzelne Prozesse der Weiterverarbeitung. So werden die Fotos zunächst anhand der Positionsinformationen ausgerichtet, Überschneidungen in den Bildern bestimmt und die virtuelle Lage der Kameras im Raum abgeleitet (vgl. Abbildung 15). Die sich überlagernden Muster werden als Punkte abgespeichert und zu einer Punktwolke verdichtet. Über die Ankerpunkte der Kameras können die realen Geoinformationen eines globalen Koordinatensystems abgeleitet werden. Als Resultat ergibt sich eine hochaufgelöste, georeferenzierte Punktwolke, welche zusätzlich für jeden Punkt eine Farbinformation enthält. Diese Punktwolke ist Grundlage aller weiteren Berechnungen und bietet eine Auflösung von wenigen Zentimetern. Beispielhaft können aus der Punktwolke bereits texturierte Modelle und Digitale Geländemodelle erzeugt werden.

Weiterverarbeitung

In einem nächsten Arbeitsschritt werden die erzeugten Punktwolken einer Plausibilitätskontrolle unterzogen. Am isac und bei GETRASOL werden dafür die eigens erzeugten Punktwolken mit den aktuellen Informationen zur Markierung des Fahrraums mit den Digitalen Oberflächenmodellen (DOM) der Landesvermessung NRW überprüft. Die Daten aus NRW werden durch das isac kostenfrei im Sinne der Open-Data-Prinzipien über die Website der Bezirksregierung Köln bezogen.

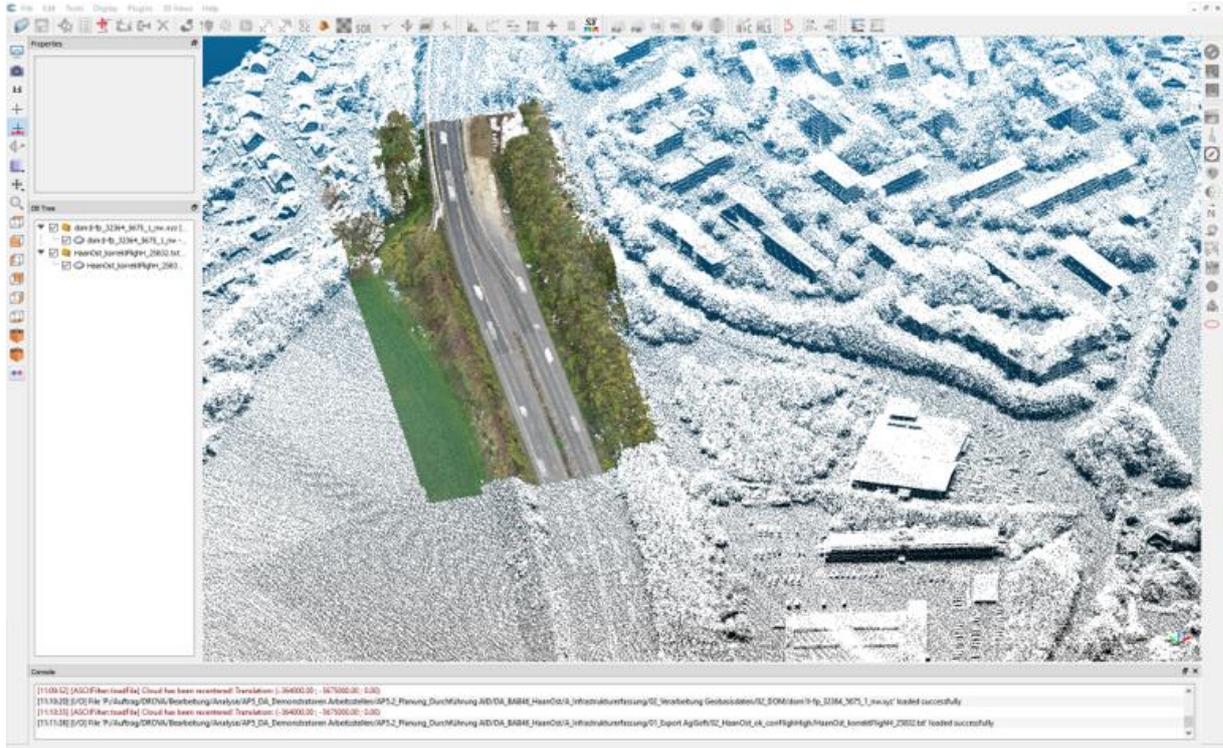


Abbildung 16: Vergleich von Punktwolke und DOM [isac, 2019]

Zunächst war die Verwendung von neben der Autobahn ausgelegten Passpunkten mit ergänzender Vermessung per Differential-GPS (als „ground-control-point“) in Erwägung gezogen worden, damit die Realität möglichst genau abgebildet werden kann. Dazu wurde von GETRASOL zu Testzwecken der Einsatz eines GPS-Rover ergänzend zu den Mitteln von DROVA finanziert. Dabei wurde bei der Evaluation, der ohne solche Referenzpunkte erzeugten Punktwolken, festgestellt, dass auf dieses Hilfsmittel verzichtet werden kann. Das Vorgehen ist somit mit der ursprünglichen Vorhabensbeschreibung gut vereinbar, da bei der Erzeugung von Analyseergebnissen weiterhin Eingriffe in den Verkehrsraum vermieden werden können.

Für den Bereich der A57 AS Dormagen (Demonstrator ZRA) wurde von GETRASOL zusätzlich zu den Mitteln aus DROVA ein Vermessungsbüro beauftragt, um mittels Rotationslaser-scanner des Herstellers Leica eine Referenzmessung incl. Digitalisierung der Markierung durchzuführen (mit 2-3 cm Genauigkeit in Weltkoordinaten). Das Gerät vom Typ „Pegasus Ultimate Pro“ wird dazu auf einem Pkw-Dach montiert mit nachfolgend mehrfacher Durchfahrt der Messtrecke im fließenden Verkehr. Die vom isac vorgeschlagene und gemeinsam von den

Projektpartnern angewendete Methodik konnte über einen Vergleich mit dieser Referenzvermessung positiv abgesichert werden.

Nach der Plausibilitätsprüfung, ob die erzeugten Punktwolken sowohl von der Lage als auch der Höhe der erfassten Punkte hinreichend genau mit den öffentlich verfügbaren Geländemodellen (Geodatenportal von NRW) übereinstimmen, ist die weitere Bearbeitung bei GETRASOL vorgesehen. Die Markierungen werden dabei in den Punktwolken händisch nachgezeichnet und als Polygonzüge abgelegt.

Seitens isac wird zudem ein Verfahren erprobt, bei welchem mit einem Farbfilter die Fahrstreifenmarkierungen automatisch extrahiert werden. Diese werden sowohl für die Kalibrierung der Videoaufnahmen (vgl. Kapitel 4.2.2) als auch für die Beschreibung des Fahrraums (Zuweisung der Fahrstreifen zu Fahrzeugpositionen) verwendet. Beispielhaft ist dies für die AID Haan-Ost in Abbildung 17 aufgezeigt. Die daraus resultierenden Punkte gleichen Abstands beschreiben die vorliegende Infrastruktur hinreichend.

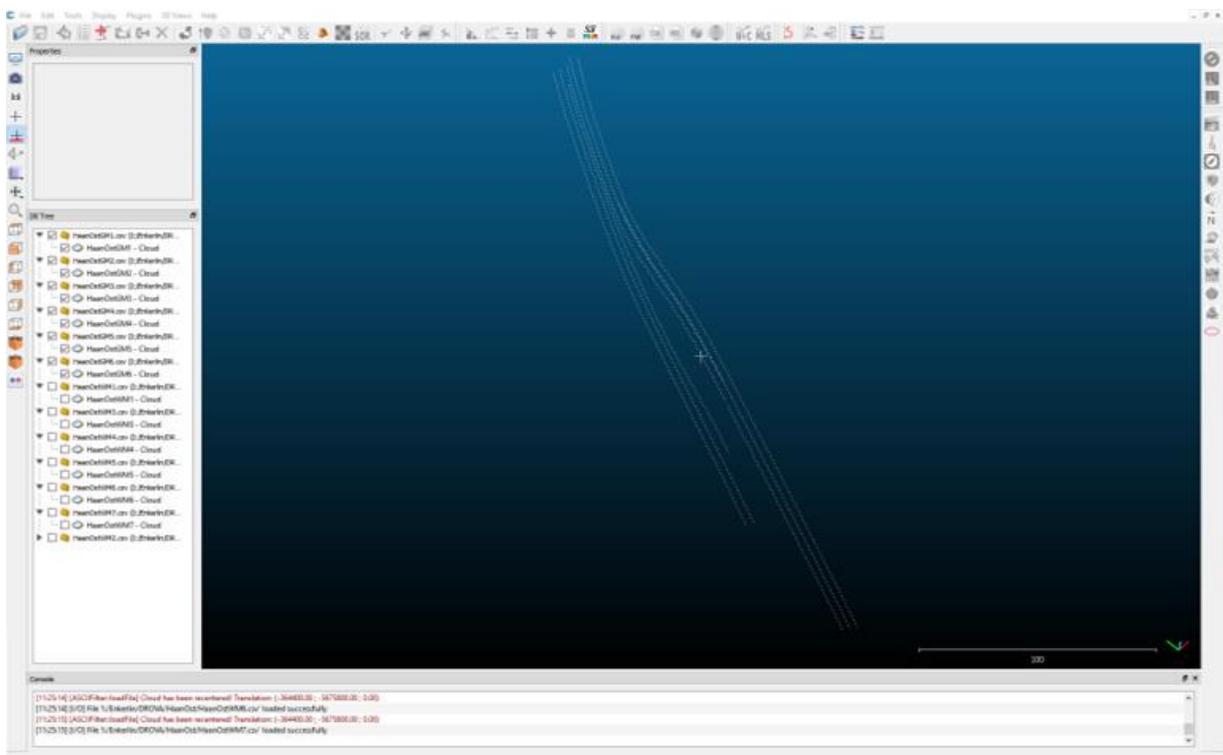


Abbildung 17: Fahrstreifenextraktion aus Punktwolke [isac, 2019]

Das Ziel ist dabei die Überführung der qualitätsgesicherten Punktwolke in eine vektororientierte Modellierung des Fahrraums. Die Vektoren werden dafür auf Basis der aufgezeigten Punkte der Fahrbahnmarkierung erstellt und in die Datenbank übergeben.

Nach Einlesen der Punktwolke in das Programm Recap Pro von Autodesk wird ein Geländemodell eingerechnet. Dieses wird dann in Infraworks von Autodesk geladen und dort die Markierungen als Vektorzüge nach den vorstehend bezeichneten Typen manuell im dreidimensionalen Raum digitalisiert. Die Endbearbeitung und -kontrolle im Abgleich mit der Punktwolke wird dann mit AutoCAD Civil 3D von Autodesk vorgenommen.

Dabei wird je Untertyp ein eigener Layer angelegt und die Linien innerhalb eines Layers nach den o.g. Typen als durchgezogener Polygonzug angelegt. Dabei wird visuell die Mitte der Markierungsstriche bestimmt und beim Setzen der Stützstellen verwendet. Im Bereich von Kurven werden so viele Stützstellen bei Digitalisieren gesetzt, dass die Rundung abgebildet werden kann.

Nach Erzeugung der Fahrbahnmarkierungen wurden die UTM-Koordinaten der Markierungslinien in die Datenbank gespeichert. Die notwendigen Leseschnittstellen für die digitale Verschneidung der Infrastruktur und Verkehrsdaten wurden ebenfalls in Matlab entwickelt.

Aufgrund der nicht möglichen Begleitung einer Wechselverkehrsführung bei dem assoziierten Partner Straßen.NRW (vgl. Beschreibung Auswahl Testfelder AID) haben sich die Untersuchungen auf die Vorlauf- und Überleitungsbereiche, sowie Anschlussstellen innerhalb von AID konzentrieren.

4.4 AP 4 – Demonstrator ZRA

4.4.1 AP 4.1 – Demonstrator ZRA – Grundlagenrecherche

Die Ermittlung der spezifischen Grundlagen zur Realisierung des Demonstrators Zuflussregelungsanlagen stehen in diesem Teilarbeitspaket im Vordergrund. Das Ergebnis dieses Teilarbeitspakets wird der anwendungsspezifische Beitrag der Anwenderforderungen aus dem Demonstrator „Zuflussregelungsanlagen“ für das AP Nr. 1 sein.

i. **Teilaspekt 1: Ermittlung von Einflussfaktoren, die für die Auswahl von ZRA relevant sind (Verkehrstechnische Aspekte/Restriktionen Drohnenflüge)**

Hinsichtlich der Einflussfaktoren für die Auswahl von ZRA wurden zunächst drei Kategorien von Anschlussstellen gegeneinander abgegrenzt:

- Anschlussstelle mit ZRA in Betrieb
- Anschlussstelle mit ZRA ausgestattet, noch in Betrieb zu setzen
- Anschlussstelle ohne ZRA, jedoch von Straßen.NRW zur Ausstattung vorgesehen.

Hinsichtlich der verkehrstechnischen Aspekte für die Auswahl der Anlagen ist zu beachten, dass dieser telematische Anlagentyp grundsätzlich nur im Bereich hochbelasteter Autobahnen zum Einsatz kommt, bei denen aufgrund Pulkbildung in den Zufahrtsrampen Verkehrszusammenbrüche auf der Hauptfahrbahn zu beobachten sind. Es ist somit systematisch für alle drei o.g. Kategorien von Anschlussstellen für den Betreiber eine Notwendigkeit zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse im Einflussbereich der jeweiligen Anlage gegeben.

Neben den allgemeinen Aspekten des Wirkgefüges einer ZRA gemäß [FGSV 318, 2008] ist zunächst in der Situation ohne Betrieb der Anlage (bzw. an Anschlussstellen die noch nicht ausgerüstet sind) das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer symptomatisch zu analysieren. Gemäß den Erfahrungen aus [AIXtraffic, 2011] ist insbesondere zu sichten ob:

- die Fahrstreifen korrekt genutzt werden, insbesondere im Bereich der Zufahrt wurden häufig Missachtungen der Fahrbahnrandmarkierung beobachtet
- der Beschleunigungsstreifen ausgenutzt wird unter Beachtung der Restriktionen, die sich aus der Markierung für die Verkehrsteilnehmer ergeben
- sich auf der Hauptfahrbahn auf der gesamten Länge des Einflussbereiches der unmittelbaren Verflechtung (d.h. 50 m stromauf und stromab des Beschleunigungsstreifens) Auffälligkeiten beim Spurwahlverhalten feststellen lassen
- aus der Gestaltung des Fahrtraums incl. der Markierung oder auch den Sichtverhältnissen offensichtliche Einflüsse auf den Verflechtungsverkehr der Anschlussstelle bestehen
- können andere Stauursachen als die unmittelbar aus der Verflechtung des Verkehrs der Einfahrt mit dem der Hauptfahrbahn festgestellt werden, welche in den Analysebereich einwirken.

Nach der Sichtung von Beispielmateriale aus ersten Beobachtungsflügen zum Demonstrator ZRA wurde es gemeinsam mit dem assoziierten Projektpartner Straßen.NRW als wesentlich erachtet, diese vorstehend benannten verkehrlichen Aspekte in der Analyse gezielt zu erfassen d.h. im Rahmen der technischen Möglichkeiten einer systematischen Betrachtung auf Grundlage der 3D-Fahrlinien zuzuführen.

Zur Auswahl der Beobachtungszeitfenster ist zu beachten, dass nach Festlegung der Demonstratoren, von denen insgesamt 7 Standorte vorgesehen sind, eine verkehrstechnische Analyse der Ganglinien des Verkehrsablaufs notwendig ist. Dabei sind die schaltungsrelevanten Zeitfenster zu ermitteln d.h. insbesondere die Spitzenbelastungen der Hauptfahrbahn und der Zufahrt sowie deren zeitliche Überlagerung. Dabei sind insbesondere Anschlussstellen von großem Interesse, die neben ausgeprägten Spitzenbelastungen und intensiver Pulkbildung auch zumindest gelegentlich Staubildung aufweisen. Letzteres ist zum einen zur Ermittlung des optimalen Arbeitspunktes des Steuerungsverfahrens ALINEA NRW und zum anderen für die Überprüfung bzw. Justierung der Abschaltung der ZRA bei Stau auf der Hauptfahrbahn relevant [Straßen.NRW, 2008].

In Bezug auf die Einflüsse aus den Restriktionen der Drohnenflüge bzw. -beobachtungen sind folgende Aspekte wesentlich [Drohnenverordnung, 2017]:

- Verfügbarkeit Startplatz auf öffentlichem Grund (sonst Genehmigung erforderlich)
- Einhaltung Randbedingungen nach Drohnenverordnung, insbesondere:
 - Flug nur mit Tageslicht auf Sicht zulässig (z.B. nicht bei Nebel)
 - Flug nur entsprechend den technischen Grenzen der eingesetzten Drohne zulässig (Begrenzung insbesondere durch die maximal zulässigen Windgeschwindigkeiten sowie Flug nur ohne Niederschlag sowie Vermeidung von Vereisung der Rotoren)

- kein Flug im kontrollierten Luftraum (wäre nur mit Einzelaufstiegserlaubnis zulässig)
 - kein Flug über Wohnbebauung
 - kein Flug über Hauptverkehrswegen
 - Einhaltung eines seitlichen Sicherheitsabstands zum Verkehrsraum von 100 m bei Bundesfernstraßen, 1:1 Abstandsregelung mit Ausnahmegenehmigung (z.B. 50 m Abstand in 50 m Flughöhe über Grund)
 - kein Flug über Naturschutzgebieten (nur mit Ausnahmegenehmigung zulässig)
- Einhaltung sonstiger gesetzlicher Bestimmungen, insbesondere zum Datenschutz
 - Erreichbarkeit eines Flugortes, der eine bestmögliche Abdeckung des relevanten Bereichs für die Analyse bringt mit so wenig Verdeckungen durch Bäume oder Bauwerke als möglich (schränkt ansonsten die Analysemöglichkeiten ein).

Im Rahmen einer rechtlichen Nachklärung wurde unter Beteiligung von Straßen.NRW und im Einvernehmen mit der Landesluftfahrtbehörde von Nordrhein-Westfalen festgestellt, dass bei Flug für Zwecke des Betreibers der Autobahnen (hier Straßen.NRW als Auftragsverwaltung des Bundes) der seitliche Abstand von 100 m zu Bundesfernstraßen nicht eingehalten werden muss. Diese Klärung war durch Sky-High-Views GbR als mit der Durchführung der Drohnenflüge beauftragten Nachunternehmer von GETRASOL bis Mitte Oktober 2018 herbeigeführt worden, nachdem bei Flügen im Auftrag des isac vorübergehend eine veraltete Verwaltungsvorschrift zu rechtlicher Unsicherheit geführt hatte.

ii. Teilaspekt 2: Ermittlung von Grundlagen für den Demonstrator in Zusammenarbeit mit Straßen.NRW (Methodik/Einflussbereich)

Aus Projekten mit herkömmlicher Optimierung von ZRA mit Beobachtungen per Videokamera von einem Stativ aus, sowie Projekten zur Zentralentechnik in NRW liegen die notwendigen Erfahrungen und Grundlagen für die Methodik der Analyse sowie der Beschreibung der Algorithmik des bei Straßen.NRW eingesetzten Verfahrens ALINEA NRW vor [AIXtraffic, 2011].

Die Grundlage ist eine Steuerung nach dem Kriterium einer optimalen Belegung des Gesamtquerschnitts bzw. des Hauptfahrstreifens stromab der Anschlussstelle (hinter der Verziehung des Beschleunigungsstreifens der Zufahrt) unter Berücksichtigung der Verkehrsstärke des Zuflusses [FGSV 318, 2008].

Dabei spielt neben der optimalen Belegung als Steuerungsgröße auch das Aufkommen von Rückstau in Richtung des nachgeordneten Netzes für die Steuerung eine Rolle. Hier wird eine sogenannte Rotzeitlockerung eingesetzt, wenn eine der Rückstauschleifen anspricht d.h. eine Überstauung mit der Gefahr von Auswirkungen auf das nachgeordnete Netz auftritt. Daraufhin wird der Durchsatz auf der Rampe i.d.R. durch eine Reduzierung der Rotschaltzeit erhöht. Auch diese Funktion ist systematisch zu überprüfen.

Die Aufbereitungslogik für die Verkehrsdaten und die Algorithmik des bei Straßen.NRW eingesetzten Steuerungsverfahrens ist in dem Umfang nachzubilden, wie dieser für die Bestimmung einer Parameterersteinstellung sowie spätere Optimierungen notwendig ist.

Für die Bestimmung des optimalen Belegungswertes sowie die Auswahl des Steuerungsverfahrens (nach dem arithmetischen Mittelwert der Belegung der Hauptfahrbahn stromab der Anschlussstelle oder nach dem Wert des Hauptfahrstreifens) sind gezielt die Zusammenhänge zwischen dem Verkehrsfluss im Bereich der Hauptfahrbahn im gesamten Einflussbereich der Einfahrt in Wechselwirkung mit den Belegungswerten zu untersuchen.

Bei bestehenden Anlagen sind die erfassten Verkehrsdaten nach TLS [TLS, 2012] mit den Stichprobenzählungen aus den 3D-Fahrlinien auf Plausibilität zu überprüfen, da hier insbesondere bei der Belegung je nach Hersteller der Erfassungstechnik Auffälligkeiten festgestellt wurden, die sich direkt auf die Güte der Steuerung der ZRA auswirken [AIXtraffic, 2011].

4.4.2 AP 4.2 – Demonstrator ZRA – Auswahl von Anschlussstellen

Das Ziel in AP 4.2 besteht in der Festlegung der Standorte für Flugeinsätze für den Demonstrator ZRA. Das Ergebnis dieses Teilarbeitspakets sind 5 Standorte bestehender ZRA sowie 2 Standorte von Anschlussstellen mit Potential für den Einsatz von diesen Anlagen.

i. Teilaspekt 1: Auswahl geeigneter Standorte

Unter Berücksichtigung der vorabgestimmten Einflüsse und relevanten Aspekte wurde die Auswahl von geeigneten Anschlussstellen für den Demonstrator ZRA aufgenommen.

Diese bleiben nach Probeflügen und Durchsprache derselben mit dem assoziierten Projektpartner Straßen.NRW dann abschließend festzulegen. Dies konnte in 2017 nicht mehr durchgeführt werden, da die Mittel für den Nachunternehmer Sky-High-Views GbR erst gegen Ende November 2017 freigegeben wurden und dann kein geeignetes Flugwetter mehr gegeben war.

Nachdem erste Vorschläge zu den 7 Demonstratoren-Standorten ZRA vom assoziierten Projektpartner Straßen.NRW übermittelt worden waren, wurden Erkundungsflüge bzw. Begehungen vorort durch Sky-High-Views GbR durchgeführt. Diese hatten zum Ergebnis, dass nicht an allen von Straßen.NRW benannten Standorten die Randbedingungen nach Drohnenverordnung eingehalten werden konnten. Da viele Anlagen im dichtbesiedelten Ruhrgebiet lagen, wurden zunächst weitere Alternativstandorte in Erwägung gezogen, dann aber erneut nach Erkundungen per Google-Earth bzw. vorort verworfen.

Es wurde dann eine mehrstufige, systematische Analyse aller in Betrieb befindlichen ZRA von Straßen.NRW vorgenommen, die auf Ihre Eignung hinsichtlich der Randbedingungen nach Drohnenverordnung durch GETRASOL untersucht wurden. Die in Frage kommenden Standorte wurden Straßen.NRW mitgeteilt und von deren Seite hinsichtlich der verkehrlichen Relevanz und Interessenslage gekennzeichnet.

Nach weiteren Vororterkundungen und Testflügen seitens Sky-High-Views GbR wurden folgende Demonstratoren ZRA im Einvernehmen mit dem assoziierten Projektpartner Straßen.NRW zu Beginn Juli 2018 festgelegt:

- A1 AS Hamm/Bergkamen FR Süd (ZRA in Prüfung)
- A43 AS Senden FR Ost (ZRA in Prüfung)
- A57 AS Dormagen FR Nord (ZRA zur Inbetriebnahme)
- A57 AS Köln-Worringen FR Süd (ZRA zur Inbetriebnahme)
- A61 AS Erftstadt FR Nord (ZRA zur Inbetriebnahme)
- A57 AS Neuss-Reuschenberg FR Süd (ZRA in Betrieb)
- A46 AS Neuss-Holzheim FR Ost (ZRA in Betrieb).

4.4.3 AP 4.3 – Demonstrator ZRA – Verkehrsbeobachtung

Das Ziel in AP 4.3 ist die Festlegung der Abwicklung und Begleitung der Durchführung der Flugeinsätze, die vom Nachunternehmer Sky-High-Views GbR durchgeführt werden. Als Ergebnis werden entsprechend der angepassten Methodik für die Modellierung des Fahrraums Fotoaufnahmen zur Erstellung der Geländemodelle (Punktwolken) sowie gemäß der ursprünglichen Planung Videomaterial zur Verkehrsanalyse von ZRA vorliegen.

An einer Bedienstation der Verkehrszentrale NRW wurde GETRASOL gestattet für eine gemeinsam mit Straßen.NRW ausgewählte Referenzwoche Verkehrs- und Schaltungsdaten aus den bestehenden ZRA bzw. von benachbarten Referenz-Messquerschnitten abzufragen und zu exportieren. Mittels Erstellung von Ganglinien der Geschwindigkeiten wurden die Zeitbereiche identifiziert, die für die Beobachtungsflüge am interessantesten erschienen. Die relevanten Zeiten für die Flugplanung ergaben sich wie folgt:

Tabelle 2: Relevante Flugzeiten

Demonstrator	Typ	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Bemerkung
A1 AS Hamm/Bergkamen FR Süd	ZRA in Prüfung		X	X	X		Vormittags 7:00 - 9:30
A43 AS Senden FR Ost	ZRA in Prüfung	X	X	X	X		Vormittags 7:00 - 8:30
A57 AS Dormagen FR Nord	ZRA zur Inbetriebnahme	X	X	X	X		Vormittags 7:00 - 9:00
A57 AS Köln-Worringen FR Süd	ZRA zur Inbetriebnahme	X	X	X	X	X	Vormittags 7:00 - 9:00
A61 AS Erftstadt FR Nord	ZRA zur Inbetriebnahme			X	X		Vormittags 6:30 - 9:30
A57 AS Neuss-Reuschenberg FR Süd	ZRA in Betrieb	X	X	X	X	X	Vormittags 6:30 - 9:00
A46 AS Neuss-Holzheim FR Ost	ZRA in Betrieb	X	X	X	X	X	Vormittags 6:30 - 9:00

Ausgehend von der verkehrstechnisch geprägten Voranalyse wurden dann nachfolgend in enger Abstimmung mit Straßen.NRW die Flüge für den Demonstrator ZRA geplant und jeweils nach Ankündigung vorab im Detail per E-Mail durchgeführt.

Nach Durchführung der Flüge wurden neben den erhobenen Fotos und/oder Videos ergänzend die zwingend für die Analyse erforderlichen Flight-Records gemäß Bereitstellung durch Sky-High-Views GbR gesichert. Weitere Angaben im Detail zu den Prozessen des Datenmanagements der erheblichen Volumina an Videodaten sind im Datenmanagementplan angeführt.

Wie bereits im Zusammenhang mit dem AP 3.3 erläutert, wurde ein erheblicher und unerwarteter Zusatzaufwand nötig, damit die Daten der Flight-Records in Verbindung mit den Fotos für die Geländemodelle (Punktwolken) aber auch den Videobeobachtungen des Verkehrs nutzbar gemacht werden konnten. Dies ist gemäß der in der Vorhabensbeschreibung abgegrenzten Aufgabenteilung durch Sky-High-Views GbR im Unterauftrag von GETRASOL erfolgt incl. der mit dem Partner isac abgestimmten Qualitätssicherung von Foto- und Videomaterial im Verbund mit den Flight-Records.

Es wurden in intensivem Austausch mit dem Partner isac Auffälligkeiten aus dem Foto- und Filmmaterial bzw. den damit verknüpften Flight-Records insbesondere in Verbindung mit dem AP 3.3 seitens GETRASOL unter Einbindung von Sky-High-Views GbR geklärt. Aktuell steht noch die Klärung von seitens dem isac beobachteten Nachkorrekturen der Kameraausrichtung bei Videoaufnahmen in Parkposition automatische Flug- und Kamerasteuerung aus. Hier muss noch ein Lösungsansatz für die ggfs. erforderliche Nachkalibrierung o.ä. gefunden werden. Auch die genauen Videoreferenzzeiten sind noch in abschließender Klärung, um Analyseergebnisse z.B. mit seitens des Betreibers erfassten Verkehrsdaten abgleichen und verknüpfen zu können.

4.4.4 AP 4.4 – Demonstrator ZRA – Aufbereitung von Videodaten

Im AP 4.4 war gemäß Vorhabensbeschreibung zunächst nur die Zusammenstellung von Daten der Flugparametrie als Grundlage zur weiteren Verarbeitung zu 3D-Fahrlinien und die Aufbereitung von Videodaten vorgesehen. Hier sind jedoch aufgrund der Änderungen bei der Methodik die Fotos zur Erstellung der Geländemodelle (Punktwolken) hinzugekommen. Es hat sich zudem aufgrund der komplexen Verkehrsabläufe und vielfältigen Einflussfaktoren beim Sichten von Beispielmateriale gezeigt, dass darüber hinaus eine visuelle Voranalyse nach den in AP 4.1 beschriebenen Aspekten zwingend erforderlich ist. Als Ergebnis liegen neben den notwendigen Zusatzinformationen zur Analyse von Fotos und Videomaterial in Listenform die Ergebnisse der visuellen Prüfung vor, welche als Muster für die automatische Analyse dienen.

Im Sinne einer Dokumentation der Einsatzplanung für den Demonstrator ZRA ist eine tabellarische Aufstellung erfolgt, an welchen Orten wann geflogen wurde und ob die betreffenden Daten auch verwendet werden können bzw. im Einzelfall warum nicht. Da die Erfahrung gezeigt hat, dass auch bei Verfolgung des Wetterberichts wiederholt Flüge nicht durchgeführt werden konnten (wurde z.T. erst vorort festgestellt z.B. wegen massivem Nebel der keinen sicheren Flugbetrieb ermöglichte), wurden auch diese Zusammenhänge notiert.

Vor dem Hintergrund der Anforderungen aus AP 1 und AP 4.1 wurden visuelle Analysen des erhobenen Videomaterials für den Demonstrator ZRA durchgeführt und tabellarisch dokumentiert. Die kategorisierten Typen von Ereignissen bilden eine Grundlage für die spätere Umsetzung der automatisierten Analyse von 3D-Fahrlinien in AP 4.6. Dabei ist auch aufgefallen, dass trotz gezielter Voranalyse von für aussagekräftige Analysen von ZRA relevanten Zeitfenstern diverses Material aufgrund geringer Belastungen der Hauptfahrbahn und Zufahrt für die spätere Bewertung nicht relevant sind mangels hinreichendem Verflechtungsverkehr.

Dahingegen kann nach der visuellen Voranalyse davon ausgegangen werden, dass die zusammenhängenden Stichproben während der Flugzeit eines Akkus (i.d.R. 15 min in Beobachtungsposition) für Analysen zum Zweck der Demonstratoren hinreichend sind. Die Aspekte eines Online-Monitorings bzw. einer darauf aufbauenden Onlinesteuerung werden dann ergänzend hinsichtlich der erforderlichen Randbedingungen in AP 6 abschließend im Projekt DROVA betrachtet.

4.4.5 AP 4.5 – Demonstrator ZRA – Kriterien zur Bewertung

Ziel des AP 4.5 ist es ausgehend von den Anwenderforderungen des AP 1 Kriterien zur Analyse von bestehenden ZRA sowie der Eignung von noch nicht mit ZRA ausgestatteten Anschlussstellen für diesen Anlagentyp festzulegen. Als Ergebnis liegen Kriterien vor, nach denen die Analyse der 3D-Fahrlinien spezifiziert werden kann.

Mittels der Zusammenhänge der Belegungswerte stromab der Anschlussstellen (arithmetischer Mittelwert bzw. rechter Fahrstreifen) sowie der Verkehrsleistung im Bereich der Anschlussstelle ist sowohl die Erstversorgung als auch eine Feinparametrierung durchzuführen. Ergänzend sind die Ganglinien für den Zufluss zu berücksichtigen unter Vermeidung von Rückstau in das nachgeordnete Netz. Die weiteren Parameter nach [Straßen.NRW, 2011] sind mit Standardwerten vorzubelegen, wobei hier eine Typisierung der Anschlussstellen bzw. ZRA-Installationen anzustreben ist, was aber erst in Verbindung mit den verkehrlichen Analysen weiter vertieft werden kann.

Bei Anschlussstellen, die noch nicht mit ZRA und somit auch nicht mit Referenz-MQ's ausgerüstet sind, müssen die Kombinationen der gleichzeitigen Belastung von Hauptfahrbahn (insbesondere Hauptfahrstreifen) und Zufahrt in Kombination vorzugsweise über die streckenbezogene Dichte analysiert werden. Lässt sich jedoch das regelmäßige Einwandern von Stau im Anschlussstellenbereich von stromab nachweisen, ist der Anlagentyp ZRA ungeeignet, was auch in Bezug auf nicht zweckmäßige Markierungen der Fall sein kann.

4.4.6 AP 4.6 – Demonstrator ZRA – Auswertung und Handlungsempfehlungen

Ziel des AP 4.6 ist es die Analysemethodik zu den Kriterien nach AP 4.5 umzusetzen und anzuwenden unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus den AP 4.1 bis 4.4. Als Ergebnis werden sowohl die benötigten Werkzeuge zur Durchführung der Analyse, die Ergebnisse als auch daraus abgeleitete Empfehlungen für den Demonstrator ZRA vorliegen.

Anhand von theoretischen Vorüberlegungen und schrittweise vom Konsortialpartner isac erhaltenen Musterdaten von Einzelfahrzeugtrajektorien wurde die Handhabung der Daten in Matlab als Grundlage der weiteren Aufbereitung erprobt. Dazu gehört u.a. die Visualisierung der 3D-Fahrlinien zur visuellen Analyse und für Kontrollzwecke der Rohdaten.

Nachfolgend wurde die Analysemethodik ZRA in MatLab umgesetzt. Dazu gehört insbesondere die Ableitung von lokalen und momentanen (streckenbezogenen) Verkehrsdaten nach den Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen (TLS).

Ergänzend wurde die Basis für die Fahrraumanalyse geschaffen, d.h. wie die Fahrzeuge den Fahrraum gliedert nach den Fahrstreifen der Einfahrt und der Hauptfahrbahn nutzen.

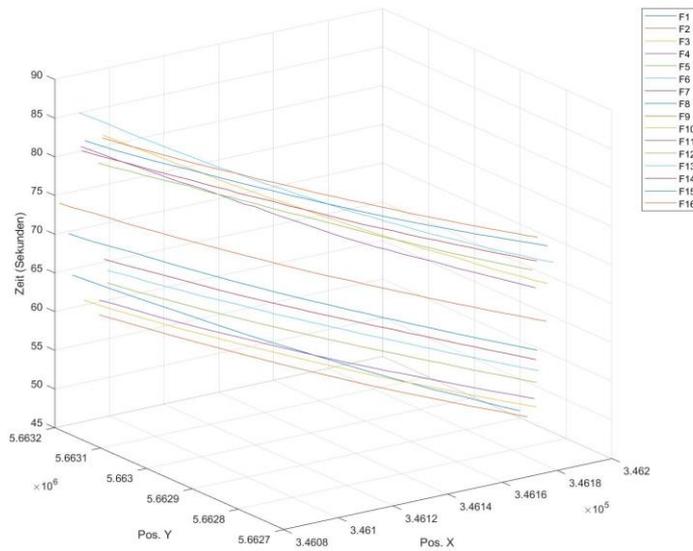


Abbildung 18: Musterdatensatz 3D-Fahrlinien von 16 Fahrzeugen A57 AS Dormagen

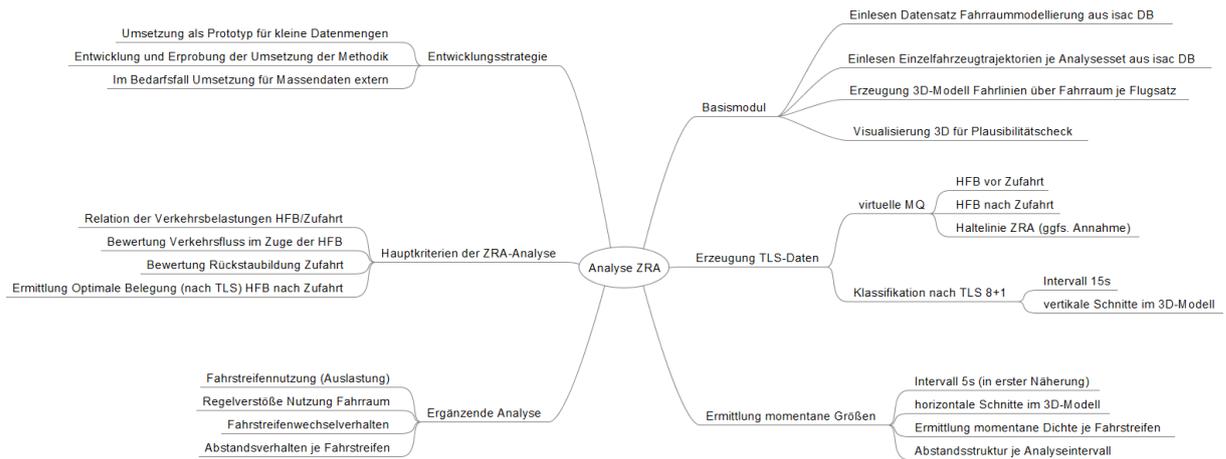


Abbildung 19: MindMap der Analysemethodik für die Demonstratoren ZRA

Die Darstellung der Ergebnisse der Analysen je Demonstrator ZRA ist in den zugehörigen Anlagen aufbereitet und vom Ergebnis und den Maßnahmenempfehlungen erläutert.

4.5 AP 5 – Demonstrator Arbeitsstellen

Die Einrichtung von Arbeitsstellen kürzerer und längerer Dauer (AkD/ AID) ist unerlässlich, um die Straßeninfrastruktur instand zu halten bzw. zu ersetzen. Deutschlandweit sind für den Juni 2017 alleine 491 neu eingerichtete AID [ADAC, 2018] gemeldet worden. Die Engstellen im Verkehrsnetz führen zu Kapazitätseinbußen und somit zu vermehrten Stauaufkommen auf dem Streckenabschnitt. Diese wirken sich als Reisezeitverluste bei den Verkehrsteilnehmern aus. Durch die hohe Relevanz der Arbeiten in Bezug auf den Verkehrsablauf werden die Arbeitsstellen, deren Einrichtungsmerkmale sowie zusätzliche Randbedingungen durch die Drohnenüberflüge mit der späteren Auswertung von Einzelfahrzeugdaten näher untersucht. Der Mehrwert in dieser Vorgehensweise liegt in der weiten Beobachtungsperspektive aus 100 m Höhe. So können Rückschlüsse auf kritische Verkehrssituationen an diesen neuralgischen Streckenabschnitten herausgearbeitet werden.

Dafür werden zunächst notwendige Untersuchungskriterien in AP 5.1 herausgearbeitet. Auf der Grundlagenrecherche aufbauend werden relevante AID in Abstimmung mit dem Landesbetrieb Straßen.NRW ausgewählt (AP 5.2) und Videos in festgelegten Untersuchungsbereichen erstellt (AP 5.3). Darauf aufbauend sind die Informationen der Einzelfahrzeuge mit der Beschreibung der Straßeninfrastruktur zu verschneiden (AP 5.4) und Kriterien zur Analyse des Verkehrsablaufs und zur Bestimmung des Unfallrisikos zu definieren. In AP 5.6 werden abschließend und aufbauend auf den bisherigen Ergebnissen Handlungsempfehlungen aufgestellt.

4.5.1 AP 5.1 – Demonstrator Arbeitsstellen – Grundlagenrecherche

Das Ziel des Teilarbeitspakets ist die Ableitung von Kriterien, die aus geoinformativer wie verkehrlicher Sicht gegen den Aufbau einer konventionellen Verkehrsführung für Arbeitsstellen längerer Dauer (AID) sprechen. Des Weiteren werden grundlegende Erkenntnisse über Richtungswechselbetriebe als Verkehrsführungen, sowie die Problematik der Anschlussstellen in AID gesammelt.

Das Ergebnis dieses Teilarbeitspakets wird ein Katalog sein, aus dem geographische wie verkehrliche Kriterien entnommen werden können, die für den potentiellen Aufbau eines Richtungswechselbetriebes bei einer Verkehrsführung von Arbeitsstellen längerer Dauer sprechen. Des Weiteren wird das Risikopotential von Anschlussstellen auf Verkehrsführungen der AID ermittelt.

Durch Veränderungen in der Verkehrsführung und den Regelbreiten der Fahrstreifen stellen die AID ein Defizit für Verkehrsablauf und –sicherheit dar. Den Baustellenplanern stellt sich damit die Herausforderung, einerseits die Auswirkungen der Arbeitsstelle auf den Straßenverkehr zu begrenzen und andererseits die Belange der Baustelleneinrichtung sowie der Arbeitssicherheit des Baustellenpersonals zu berücksichtigen. In Folge dessen sind die bautechnischen Anforderungen mit den verkehrstechnischen Belangen abzuwägen. Als Planungsgrundlage dienen vordergründig die Straßenverkehrsordnung (StVO), die Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO) und die Richtlinie für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA, 1995). Darüber hinaus sind die jeweiligen Erlasse der Länder zu beachten, die sich auf Arbeitsanweisungen der Landesbetriebe stützen.

Zudem sind seit Dezember 2018 die Technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR 5.2) veröffentlicht. In dem Regelwerk werden Anforderungen an Arbeitsplätze und Verkehrswege auf Baustellen im Grenzbereich zum Straßenverkehr definiert [ASR, 2018].

Das Zielsystem der Straßenerhaltung besteht nach OEFFNER, 1988 in der Maximierung des Nutzens für die Straßennutzer und Straßenbaulastträger. Für eine Optimierung sind dem Nutzen die Kosten aus der Umweltqualität, dem Verkehrsablauf und der Erhaltung und des Betriebs der Straße gegenüberzustellen.

Für den Kennwert Verkehrsablauf können nach RESSEL, 1994 als wechselnde Einflussgrößen Merkmale aus den Bereichen Fahrbahn, Fahrzeug, Fahrzeugführer, Verkehr und Umwelt definiert werden. Die Merkmale werden in einer Matrix aufgeführt und hinsichtlich der Anwendbarkeit und der Aufgabenstellung in dem Arbeitspaket bewertet.

Tabelle 3: Einflussgrößen auf den Verkehrsablauf

lfd. Nr.	Einflussgröße	Merkmal	Berücksichtigt	Parameter
1	0	Fahrbahnabhängige Faktoren		
1	1	Linienführung	Randbedingung	Höhenwerte für Längsneigung
1	2	Querschnittsgestaltung	Einflussgröße	Verkehrsführung nach Regelplan FS-Breiten aus Punktwolke
1	3	Oberflächenbeschaffenheit	Nein	-
1	4	Verkehrsrechtliche Merkmale	Randbedingung	StVO-Regelungen über Regelplan
2	0	Fahrzeugabhängige Faktoren		
2	1	Fahrzeugtyp		Fahrzeugklassifizierung in Generierung Mikroverkehrsdaten
2	2	Fahreigenschaften	Randbedingung	indirekt über Fahrzeugklassifizierung
2	3	Fahrzeugzustand	Nein	-
3	0	Fahrzeugführerabhängige Funktionen		
3	1	Fahreigenschaften	Auswertung	Reaktionsvermögen über Beschleunigungs-
3	2	Fahrverhalten	Auswertung	Geschwindigkeit, Abstandsverhalten und
4	0	Verkehrsunabhängige Faktoren		
4	1	Verkehrsstärke und -dichte	Auswertung	MQ-Daten
4	2	Verkehrszusammensetzung	Auswertung	Fahrzeugklassifizierung in Generierung Mikroverkehrsdaten SV-Anteile in MQ-Daten
5	0	Umweltabhängige Faktoren		
5	1	Witterung und Tageszeit	Randbedingung	Aufzeichnung Messzeiträume
5	2	Straßenumfeld	Nein	-

Für das Generieren von Ergebnissen steht somit die Interaktion zwischen Fahrzeug und Fahrbahn, sowie die Interaktion zwischen Fahrzeug und Fahrzeug im Vordergrund der Analysen. Der Mehrwert in den generierten Daten wird somit in dem Sachverhalt gesehen, dass jede einzelne Fahrzeugbewegung in Verbindung mit der Straßeninfrastruktur ausgewertet werden kann. Dies ist insbesondere hinsichtlich der Untersuchungen der Verkehrssicherheit von immenser Bedeutung, die sich wiederum in der Qualität des Verkehrsablaufs widerspiegelt. Im Folgenden wird durch einen Exkurs auf die bisherigen Verfahren der Sicherheitsbewertung von Straßen der Mehrwert des Projektes verdeutlicht.

Exkurs: Wechselverkehrsführung:

Einer Wechselverkehrsführung stehen die Überlegungen zu Grunde, dass bei geringer Fahrstreifenbreite das Aufrechterhalten der Fahrstreifen an die Verkehrsbelastung je nach Tageszeit angepasst wird. Als Grundvoraussetzungen gelten dabei Spitzenbelastungen die sich sowohl zeitlich als auch richtungsbezogen elementar unterscheiden. Eine detaillierte Beschreibung der Voraussetzungen und der Aufbauweise folgt. Aufgrund der hohen Betriebskosten, des Umbauaufwands und der somit verbundenen hohen Einsatzhürden bei dem Aufbau einer Wechselverkehrsführung stellen die Formen der Arbeitsstelleneinrichtung einen Sonderfall dar. Die Begleitung eines Richtungswechselbetriebs kann daher nur beispielhaft erfolgen. Der Fokus in der begleitenden Verkehrsbeobachtung soll für diesen Einzelfall in den täglichen Umbauphasen liegen. Nach Vorliegen der Planunterlagen wird das Auf- und Umbauprinzip erörtert und Vor- sowie Nachteile der Verkehrsführung herausgestellt.

Exkurs: Anwendung Verkehrssicherheit auf Beurteilung AID

Zur sicheren Abwicklung von Instandhaltungsmaßnahmen auf Bundesfernstraßen ist es erforderlich die Baustelle nach den RSA abzusichern (RSA, 1995). Dabei werden je nach Lage der Arbeitsstelle, der Verkehrsbelastung und dem Schwerverkehrsanteil (SV-Anteil) verschiedene Verkehrsführungen eingerichtet, in denen die Fahrstreifen vollständig oder teilweise übergeleitet werden. Auch eine Fahrstreifenverengung ohne Überleitung ist nach geltenden Regelplänen möglich. Je nach Behelfsverkehrsführung ergeben sich verschiedene Unfallausprägungen, die in der Literatur erläutert werden. In dem Kontext des Forschungsprojektes werden die Angaben als Anhaltswerte verwendet, um sicherheitskritische Bereiche einer Arbeitsstelle zu identifizieren und als Eingangskriterium für das AP 5.2: Auswahl und Durchführung der Testfelder zu nutzen.

Eine Zusammenstellung der von verschiedenen Autoren berechneten Unfallraten (UR) und Unfallkostenraten (UKR) lässt deutliche Tendenzen für das Unfallgeschehen in Arbeitsstellen erkennen. Für eine Detailanalyse wird eine Arbeitsstelle in Anlehnung an EMDE/HAMESTER, 1983 und SÜMMERMANN et al., 2010 in mehrere Sektionen unterteilt (siehe Abbildung 20).

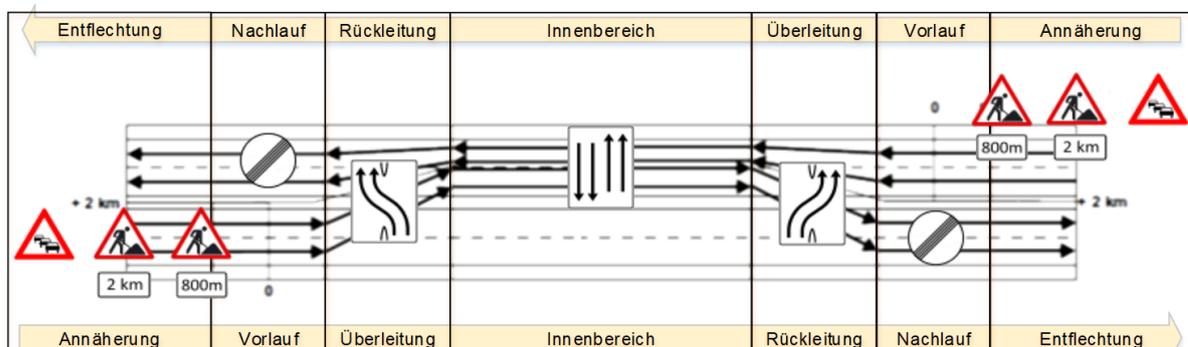


Abbildung 20: Schematische Darstellung der Sektionseinteilung einer AID [SCHNORBUS, 2015]

Eine Gegenüberstellung der Kenngrößen zeigt deutlich, dass insbesondere die Über- und Rückleitungen erhöhte Unfallraten aufweisen. Dies belegen auch die aktuellsten

Untersuchungen von TEUWSEN, 2015, welche Unfallraten von bis zu 2,43 $[U/(10^6 \text{ Kfz} * \text{ km})]$ in einer 4+0 Verkehrsführung (VF) berechnet. Auch KEMPER et al., 2014 stellen UR von bis zu 2,34 $[U/(10^6 \text{ Kfz} * \text{ km})]$ in einer 3+1 VF in den jeweiligen Überleitungen fest. SÜMMERMANN, 2012 bilanziert ein erhöhtes Unfallrisiko in den Verschwenkungsbereichen mit UR von bis zu 2,75 $[U/(10^6 \text{ Kfz} * \text{ km})]$ (4+0 VF) oder 2,96 $[U/(10^6 \text{ Kfz} * \text{ km})]$ in einer 3+1 VF. Eine getrennte Betrachtung nach Über- und Rückleitung findet nicht statt. Lediglich KOCKELCKE/ ROSSBANDER, 1988 stellen in einer 3+3 VF widersprüchlich eine geringe UR von 0,0 $[U/(10^6 \text{ Kfz} * \text{ km})]$ fest. Da es sich in dem Fall um eine Untersuchung aus den 1980er Jahren handelt ist die Kenngröße aus einer Arbeitsstelle als nicht aussagekräftig zu werten.

Als weitere Sektion stellt der Innenbereich einer AID ein erhöhtes Unfallrisiko dar. Die UR liegen in allen VF nicht unter einem Wert von 0,60 $[U/(10^6 \text{ Kfz} * \text{ km})]$ (TEUWSEN, 2015). Den Höchstwert in einem Innenbereich berechnen EMDE/ HAMESTER; 1983 mit 1,275 $[U/(10^6 \text{ Kfz} * \text{ km})]$ in einer 2+2 VF. Als weitere Tendenz ist in der Sektion erkennbar, dass die UR von 0,60 bis 1,275 $[U/(10^6 \text{ Kfz} * \text{ km})]$ in einem viel geringeren Maße streuen wie in anderen Baustellensektionen.

Des Weiteren sind im zwei Kilometer langen Vorlaufbereichen mit bis zu 2,34 $[U/(10^6 \text{ Kfz} * \text{ km})]$ (KEMPER et al., 2014) oder 1,21 $[U/(10^6 \text{ Kfz} * \text{ km})]$ (EMDE/ HAMESTER, 1983) höhere Unfallraten festzustellen als in dem Nachlaufbereichen. Als Erklärung für dieses Phänomen sind die Stauzustände vor Baustellen zu nennen (VOLKENHOFF et al., 2011).

Durch die Berechnung der Unfallkostenrate werden neben dem Unfallrisiko die Folgekosten der Unfälle und somit die Schwere der Unfälle mit einbezogen. Bei der Betrachtung dieser Kenngröße stellen sich ähnliche Tendenzen heraus wie bei der Unfallrate. Maximalwerte berechnet TEUWSEN, 2015 mit einer UKR von 55,73 $[\text{€}/(1000 \text{ Kfz} * \text{ km})]$ ebenso wie SÜMMERMANN, 2012 mit einer UKR von 33,76 $[\text{€}/(1000 \text{ Kfz} * \text{ km})]$ für den Überleitungsbereich. Nach KEMPER et al., 2014 sind zudem besonders in den teilweise übergeleiteten Verkehrsführungen auch die Rückleitungen von erhöhten UKR betroffen. Die Werte liegen allerdings unter dem Niveau von der jeweiligen Vorlaufbereiche.

Neben der Unterscheidung von Verkehrsführungen können Kollektive auch nach der schwersten Unfallfolge erstellt werden. Der Fokus bei der Kollektivbildung liegt auf der Differenzierung von Unfällen mit Personenschaden (U(P)) oder Sachschaden (U(S)). Bei den Kategorien von eins bis drei (Personenschaden) ist eine deutlich geringere Unfallrate zu erkennen. Beispielweise liegt der Maximalwert nach TEUWSEN, 2015 bei einer UR von 0,365 $[U/(10^6 \text{ Kfz} * \text{ km})]$ im Innenbereich als gemittelter Wert aus allen Baustellenverkehrsführungen. Werden Sachschadensunfälle mit einbezogen liegen die Unfallraten im Innenbereich bei bis zu 1,351 $[U/(10^6 \text{ Kfz} * \text{ km})]$ (vgl. EMDE/ HAMESTER, 1983). Höchstwerte berechnen; SÜMMERMANN, 2012 in den Verschwenkungen mit bis zu 2,856 $[U/(10^6 \text{ Kfz} * \text{ km})]$ oder TEUWSEN, 2015 mit UR = 1,94 $[U/(10^6 \text{ Kfz} * \text{ km})]$.

Wie auch in der verkehrsführungsgetrenten Betrachtung folgen in einer Gegenüberstellung aller AID nach den Überleitungen und dem Innenbereich der Vorlauf und der Nachlauf mit geringer werdenden UR. Die Auswirkungen der vorgestellten Sektionen auf die Verkehrssicherheit einer Arbeitsstelle sind ebenfalls in einer getrennten Betrachtung der UR

und UKR nach Unfällen mit Personenschaden (Kategorie 1-3) und Unfällen mit Sachschaden (Kategorie 4-6) erkennbar. So stellen sich auch in dem Fall die Sachschadensunfälle als maßgebender Grund für die Unfallkosten heraus. Diese fallen wiederum in den Verschwenkungen, gefolgt von Vorlauf und Innenbereich, am höchsten aus.

Vergleichbare Studien belegen zum Teil diese Tendenzen. So sind nach NADLER et al., 1988 die ersten 200 Meter eines Baustellenbereichs mit besonders hohen Unfallraten behaftet. Zudem liegt das Verhältnis von Unfällen mit Sachschäden zu Personenschäden bei 1:8 im Gegensatz zu einem Verhältnis von 1:3 auf baustellenfreien Bereichen NADLER et al., 1988. Die Analyse sind allerdings auf Streckenabschnitten in Österreich vorgenommen worden, auf denen eine Absicherung der AID nicht nach den RSA, 1995 vorgesehen ist.

Im OECD-Bericht aus dem Jahr 1981 wird angemerkt, dass die Unfallrate mit Sachschäden doppelt bis dreifach so hoch ist wie in Bereichen ohne AID. Als Ergebnis der Analyse von Unfallraten aufgrund von Personenschäden wird aufgeführt, dass im Bereich von sechs Kilometer vor und hinter der Baustelle eine Erhöhung um den Faktor 1,5 im Vergleich zur freien Strecke festzustellen ist. Diese Aussage in Bezug auf die U(P) widerspricht aktuelleren Forschungsergebnissen von niedrigeren Verletztanzahlen in AID.

Auch HESS, 1995 kommt zu dem Ergebnis, dass der Zulaufbereich im Vergleich zum Nachlauf (nach Heiß Entflechtung genannt) höhere Unfallraten aufweist. Eine weitere Erkenntnis ist die zurückgehende Unfallrate aufgrund schwerer Personenschäden, welche er mit einem abnehmenden Geschwindigkeitsniveau begründet.

Als Resultat kann festgehalten werden, dass Überleitungs- und Baustelleninnenbereiche nach dem Erkenntnisstand vergangener Studien eine Tendenz von höheren UR und UKR aufweisen, bei einem höheren Anteil von Sachschadensunfällen und einer geringeren Anzahl an verletzten oder getöteten Verkehrsteilnehmern.

Verkehrsbelastung

Für die Analyse einer möglichen Korrelation zwischen der Verkehrsstärke und dem Auftreten von Unfällen stellen FISCHER et al., 2003 in ihrer Untersuchung die Zahl und Schwere von Unfällen mittels UR und UKR den stündlichen Verkehrsstärken gegenüber. Eine signifikante Abhängigkeit haben sie zwischen diesen Größen nicht festgestellt.

Ebenso können SPAN/ WIRTH, 2013 bei der Gegenüberstellung der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) und Unfallraten von Personen- und Sachschadensunfällen keinen Zusammenhang ausfindig machen. Lediglich bei der Betrachtung von stündlichen Verkehrsstärken zum Unfallzeitpunkt ist eine Tendenz zu mehr Fahrunfällen in verkehrsschwachen Tageszeiten zu erkennen, die sich des Öfteren als Alleinunfälle ereignen. Dagegen sind bei höheren Verkehrsstärken häufiger Unfälle im Längsverkehr festzustellen (SPAN/ WIRTH, 2013). Begründet sehen die Autoren die verschiedenen Unfallcharakteristiken mit den höher gefahrenen Geschwindigkeiten bei geringeren Verkehrsstärken.

Einen direkten Zusammenhang zwischen den Kenngrößen sehen allerdings VOLKENHOFF et al. (2011) bei der Auswertung von Unfällen durch Videoauswertungen in

AID. Die Verteilung der Unfälle im Laufe eines Tages verhält sich in deren Ergebnissen proportional zur Verkehrsstärke. Auch eine Verteilung über Wochentage zeigt einen proportionalen Verlauf von Montag bis Samstag. An Sonntagen stellen VOLKENHOFF et al., (2011) eine Unterbrechung der Tendenz fest, welche sie in dem geringeren SV-Anteil begründet sehen.

Auch LAUBE, 2011 erkennt einen Einfluss der Verkehrsstärke auf das Unfallgeschehen. Eine immer größere Verkehrsmenge auf dem Überholfahrstreifen und kleiner werdende Zeitlücken sieht er als Hautgrund für ein erhöhtes Unfallrisiko an.

Bei der Gegenüberstellung von Verkehrsstärke und Unfallrate erkennt PÖPPEL-DECKER, 2003 einen signifikanten Einfluss von der Verkehrsbelastung auf das Unfallgeschehen. Extrem hohe UR treten seiner Meinung nach bei hohen Verkehrsstärken auf. Eine Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Unfallkenngrößen für Personenschäden und schwerwiegenden Sachschäden sowie dem DTV kann durch eine potentielle Funktion angenähert werden. Die Korrelation zwischen UR von Leichtverletzten sei nur mit Hilfe eines Polynoms höheren Grades zu beschreiben (vgl. PÖPPEL-DECKER, 2003).

Im Gegensatz dazu stellt GEISTEFELDT, 2007 in seinen Untersuchungen zu vierstreifigen Richtungsfahrbahnen fest, dass bei geringen Verkehrsstärken ein deutlich höheres Unfallrisiko besteht. So ist die UR unter 1.000 Kfz/h dreimal so hoch wie über diesem DTV-Wert.

Behelfsfahrstreifenbreiten und Schwerververkehrsanteil:

Nach RSA, 1995 sind bei der Einrichtung von AID Reduzierungen der Behelfsfahrstreifenbreiten (BFS-Breiten) notwendig, um die Anzahl der Fahrstreifen insgesamt erhalten zu können. Schematisch ist die neue Querschnittsaufteilung in Abbildung 21: Breitenreduzierung in AID [RSA, 1995] und resultierende Konflikte [www.ruhrnachrichten.de, 2013] dargestellt.



Abbildung 21: Breitenreduzierung in AID [RSA, 1995] und resultierende Konflikte [www.ruhrnachrichten.de, 2013]

Eine richtliniengetreue Verminderung der Breiten hat ein zusätzliches Konfliktpotential zur Folge. Dadurch steigt das Unfallrisiko, wenn insbesondere der Schwerverkehr überholt wird und darüber hinaus geltende Verbotsbeschilderungen nicht beachtet werden (siehe Abbildung

21). Aufgrund dieser Tatsache wird eine kombinierte Betrachtung der zwei Einflussgrößen (BFS-Breiten und SV-Anteil) vorgenommen.

Sowohl FISCHER, 2009 als auch DINER; 2011 stellen in ihren Untersuchungen fest, dass die Fahrstreifenbreiten einen Einfluss auf das Unfallgeschehen haben. So ist nach FISCHER, 2009 die UKR umso höher je breiter die Querschnittsabmessungen der gesamten Fahrbahn sind. Auch ein deutlicher Einfluss der Breiten auf die Verteilung von Unfallarten ist seiner Meinung nach zu verzeichnen. So nimmt der Anteil von Unfallart 3 (Streifen) zu und von Unfallart 2 (Auffahrunfall) ab. FISCHER, 2009 bezieht sich auf die RSA, 1995 und merkt an, dass sich das Überschreiten der Breitenmindestmaße im Gegensatz zu einem Unterschreiten der Grenzwerte negativ auf die Unfallkosten auswirkt.

DINER, 2011 sieht die BFS-Breite als ein Hauptgrund für das erhöhte Auftreten von Sachschäden in AID an. Im Gegensatz zu FISCHER, 2009 ermittelt er eine abweichende Unfalltypenverteilung als Merkmal für diese Kenngröße. Nach seinen Untersuchungen ist eine Zunahme des Unfalltyps 6 (Längsverkehr) bei dem Vergleich von einer Ausbaustufe mit breiten Fahrstreifen zu einer Ausbaustufe mit schmaleren Fahrstreifen zu erkennen, da durch Ersteres die seitlichen Berührungen von Personenkraftwagen (PKW) und Lastkraftwagen (LKW) reduziert werden können (DINER, 2011).

Nach FISCHER/ BRANOLTE, 2006 ist bei der UR keine Beeinflussung durch die Fahrstreifenbreiten erkennbar. Die UKR steigt aber nach deren Ergebnissen tendenziell mit größeren Breiten an. Wie auch KRUX et al., 1995 begründen sie diese Fälle mit den höher gefahrenen Geschwindigkeiten.

Noch genauere Verhältniswerte liefert der Bericht der Unfallforschung der Versicherer aus dem Jahr 2012. BAKABA et al., 2012 stellen fest, dass der Anteil von Unfällen, in die der Schwerverkehr beteiligt ist von 29 % auf der freien Strecke auf 43 % in AID ansteigt. Letztere stehen zu 72 % im Zusammenhang mit Unfällen durch seitliches Unfallart 3. Auf der freien Strecke liegt dieser Anteilswerte bei 34 %. Nach deren Ergebnissen besteht auf Autobahnquerschnitten mit breiten Fahrstreifen ein geringeres Unfallrisiko, während sich die Unfallschwere erhöht (BAKABA et al, 2012). Zudem entsteht ein zusätzliches Sicherheitsrisiko durch Veränderungen der Fahrbahnbreiten innerhalb einer Arbeitsstelle. Einen generellen Einfluss auf die gefahrenen Geschwindigkeiten haben schmalere Breiten, nach den Autoren folgernd, aber nicht.

Behelfsanschlussstellen

Ein weiterer Einfluss auf die Verkehrssicherheit in Arbeitsstellen besteht durch die Einrichtung von Behelfsanschlussstellen. Da die Schließung einer Anschlussstelle nur als zweitbeste Lösung anzusehen ist (RSA, 1995), werden bei einer Baustelleneinrichtung, die über eine Anschlussstelle hinausgeht; die Zu- und Abfahrten weitestgehend erhalten. Es stehen dann nur verkürzte Verzögerungs- und Beschleunigungsstreifen zur Verfügung und besonders bei Verkehrsführungen auf dem schmaleren Seitenstreifen besteht ein erhöhtes Konfliktpotential.

Nach dem Jahresbericht über das Verkehrs- und Unfallgeschehen in Bayern (OBB, 2008) ist die Unfallrate in AID mit Ein- und Ausfahrten doppelt so hoch wie ohne Anschlussstellen. Insbesondere Einfahrten mit Stopp-Schild bergen ein erhöhtes Unfallrisiko. Auch DINER, 2011 stellt ein erhöhtes Unfallgeschehen in Bereichen von Anschlussstellen bei der Untersuchung von dicht aufeinanderfolgenden Arbeitsstellen fest.

SÜMMERMANN, 2012 erkennt erhöhte Werte von UR und UKR, wenn mindestens eine Anschlussstelle im Innenbereich vorhanden ist. Bei der differenzierten Betrachtung der Verkehrsführungen stellt sich der Einfluss bei einer 3+1 VF als höher heraus wie bei einer 4+0 VF. Begründet sieht er diese Tatsache in dem vermehrten Auftreten von Sachschadensunfällen.

Die Ergebnisse von KEMPER et al. (2014) bestätigen die Aussagen nur zum Teil. Bei einem Vergleich der Verkehrsführungen 4+0, 4+2 und 3+1 mit Anschlussstelle berechnen sie bei den zwei erst genannten Verkehrsführungen geringere UR. Nach deren Berechnungen gehen allerdings die UKR, wenn ein oder mehrere Zwangspunkte existieren, bei den drei genannten Verkehrsführungen zurück. Neben der Betrachtung aller Unfälle differenzieren die Autoren das Unfallgeschehen nach Unfällen mit Personenschaden (Unfallkategorie 1-3) und Sachschaden (Unfallkategorie 4-6). Ein zusätzlicher Vergleich von UR und UKR lässt die Verfasser darauf schließen, dass aufgrund geringerer Differenzen zwischen den Kenngrößen mehr Unfälle in Arbeitsstellen mit Anschlussstellen verursacht werden als in AID ohne Anschlussstelle. Das Unfallgeschehen weist diesbezüglich eine geringere Unfallschwere auf.

Auch SPACEK et al. (2005) führen eine Unterscheidung von VF führen durch. In ihrer Studie vergleichen sie Bereiche ohne und mit Anschlussstellen von 2+2, 3+1 und 4+0 VF. Ein großer Anteil der Unfälle ist nach dem Resultat der Autoren im Bereich der Anschlussstellen zu beobachten.

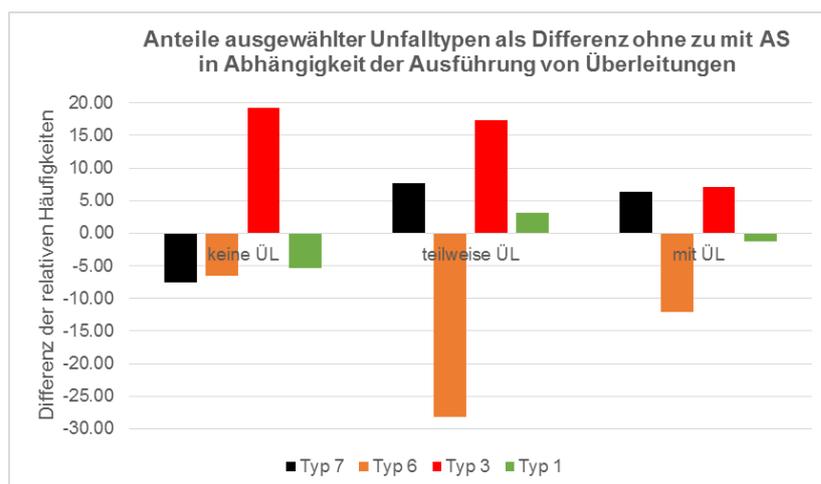


Abbildung 22: Unfalltypen der Kat. 1-6 mit und ohne AS nach [TEUWSEN, 2015]

Eine Unterscheidung des Unfallgeschehens nach den Unfalltypen liegt aus dem Jahr 2015 vor. TEUWSEN, 2015 erkennt in ihrer Arbeit eine Abnahme von Längsunfällen (Unfalltyp 6) und eine Zunahme des Unfalltyps 3 (Einfahren-/ Kreuzen-Unfälle). Eine Gegenüberstellung

der Unfalltypen in Baustellen mit und ohne Anschlussstelle ist in Abbildung 22 in Anlehnung an Teuwsens Arbeit dargestellt.

Eine weitere Untersuchung hinsichtlich der Unfallursachen erfolgt in dem Forschungsbericht zur Unfallforschung der Versicherer aus dem Jahr 2012. BAKABA et al., 2012 stellen ein doppelt so hohes Unfallrisiko in AID mit Behelfsanschlussstellen fest als in AID ohne Beeinträchtigung von Zwangspunkten. Bei Betrachtung der Unfallarten erkennen die Autoren keinen signifikanten Unterschied zu den Anteilen auf der freien Strecke. Lediglich weniger Unfälle durch seitliches Streifen (Unfallart 3) und eine Tendenz zu mehr Unfällen durch Abkommen von der Fahrbahn (Unfallart 8/9) sind zu verzeichnen. Bei der Differenzierung von Unfallcharakteristiken innerhalb der Anschlussstelle ist bei Einfahrten die Unfallart 3 mit 46 % stärker vertreten als bei Ausfahrten, bei denen die Unfallart 2 (Auffahrunfall) 9 % über dem entsprechenden Anteil der Einfahrten liegt (BAKABA et al., 2012).

Unfallzeitpunkt

Das Auftreten von Unfällen unterliegt sowohl auf der freien Strecke als auch in AID neben örtlichen auch zeitlichen Schwankungen. Um auszuschließen, dass es sich um eine reine Zufallsgröße handelt, wird der Unfallzeitpunkt in der Literatur in einigen Unfalluntersuchungen analysiert.

NADLER et al. (1988) stellen in ihrer Analyse fest, dass zwischen dem Unfallgeschehen im Tagesverlauf zwischen behinderten und unbehinderten Bereichen auf Autobahnen keine gravierenden Unterschiede erkennbar sind. Bei der Betrachtung der absoluten Unfallzahlen sind in den beiden Fällen zwei Maxima um 9:00 Uhr und um 18:00 Uhr erkennbar.

Ein aktueller Bericht aus dem Jahr 2012 liefert eine erste Tendenz zur zeitlichen Differenzierung des Unfallgeschehens. So ist nach BAKABA et al. (2012) eine Verschiebung von Anteilswerten an dem Gesamtunfallgeschehen in AID zu Spitzenzeiten feststellbar. In Annäherungsbereichen steigt der Anteil der Unfälle von 40 % (freie Strecke) auf 43 % in dem Zeitraum der Morgen- und Abendspitze. Im Baustelleninnenbereich liegt der Anteilswert auf dem Niveau der freien Strecke. Die Verschiebungen liegen jedoch unterhalb des Signifikanzniveaus.

PETERSEN, 1988 bezieht in seiner Analyse die Unfallrate mit ein. Seinen Aussagen nach ist die UR im Zeitraum von 15:00 bis 16:00 Uhr in Baustellen doppelt so hoch wie zu demselben Zeitpunkt auf unbehinderter Strecke. Zu anderen Tageszeiten ist dieses Phänomen nicht beobachtbar.

Generelle Aussagen zu der zeitlichen Betrachtung des Unfallgeschehens für BAB liefern die ACE-Studie (2011) und der jährliche DESTATIS-Bericht (2015). Übereinstimmend gelten nach den Autoren die Sommermonate als unfallträchtigste Zeitpunkte im Jahr. Insbesondere im Juli sind 20% mehr Unfälle mit Personenschäden zu verzeichnen (ACE-Studie, 2011). Der Dezember liegt bei der Unfallhäufigkeit nur knapp über dem Jahresdurchschnitt, insbesondere Sachschadensunfälle treten vermehrt auf (DESTATIS, 2015).

Auch die Uhrzeit, in der sich ein Unfall ereignet und die sich damit verändernden Lichtverhältnisse sind von besonderer Bedeutung. So ist das Unfallgeschehen in der Nacht in Baustellen leicht höher als auf den Bereichen ohne Baustelle. Der Anteil an Unfällen bei Nacht steigt nach BAKABA et al (2012) von 30% auf freien Strecken auf 38% in der Annäherung von AID und 33% im Baustellenbereich an. Ohne Unterscheidung nach freien und behinderten Autobahnabschnitten werden Unfälle zu zwei Drittel in den Tagesstunden und zu einem Drittel in den Nachtstunden beziehungsweise in der Dämmerungsphase verursacht (PETERSON, 1988 und ACE-Studie, 2011), wobei in den Nachtstunden eine wesentlich geringere Verkehrsstärke zu beobachten ist.

Länge der Arbeitsstelle.

Eine Untersuchung des Einflusses der Bauloslänge von AID wird grundsätzlich in wenigen Berichten vorgenommen. HESS, 1993 erkennt durch die Analyse des Fahrverhaltens eine höhere Unfallgefahr durch eine zunehmende Länge des Baustelleninnenbereiches. Auch BAKABA et al., 2012 erkennen Zusammenhänge in ihrer Unfalluntersuchung zu Arbeitsstellenlängen. Sie bestimmen die UR zwischen den jeweils einen Kilometer langen Anfangs- und Endbereichen sowie dem Innenbereich in Abhängigkeit von vier Längensklassen. Dabei stellen die Autoren höhere Unfallrisiken in den Anfangs- und Endbereichen von langen Arbeitsstellen fest. Bei kürzeren AID ist der Innenbereich der Arbeitsstellenabschnitt, der das geringste Sicherheitsniveau aufweist. Grundsätzlich geht unabhängig von der Längensklasse das Risiko in einen Unfall verwickelt zu werden im letzten Drittel eines Baustelleninnenbereiches zurück. Eine längere Arbeitsstelle scheint sich nicht generell negativ auf die Verkehrssicherheit auszuwirken.

Verglichen mit den vorherigen Ergebnissen stehen die Aussagen von FISCHER/ BRANNOLTE (2006) im Widerspruch. Sie verzeichnen bei der Ermittlung der UR und UKR in Abhängigkeit der Arbeitsstellenlänge von 3+1 und 4+0 VF keine Zusammenhänge.

Zusammenfassung der Erkenntnisse und weiteres Vorgehen

Die vorangegangenen Untersuchungen zu der Verkehrssicherheit in AID zeigen, dass Arbeitsstellen einen Einfluss auf das Unfallgeschehen auf BAB haben. Für die Ableitung von räumlich beschränkten Testfeldern werden die wesentlichen Erkenntnisse zusammengefasst und anhand dessen Auswahlkriterien definiert.

Der Einfluss einer AID auf das Unfallgeschehen stellt sich studienübergreifend durch höhere UR in ausgewählten Arbeitsstellen als signifikant heraus. Insgesamt ist eine Erhöhung der Unfallzahlen in Arbeitsstellen erkennbar. Diese begründet sich auf eine höhere Anzahl an Unfällen mit Sachschäden in AID als auf freier Strecke und steht einer leicht geringeren Anzahl an Unfällen mit Personenschaden gegenüber. Begründet sehen die Autoren den Effekt in einer **Verengung der Fahrstreifenbreiten** in Verbindung mit einem hohen Anteil des Schwerverkehrs. Dadurch werden Unfälle vermehrt im Längsverkehr (Unfalltyp 6) durch das seitliche Berühren der Fahrzeuge verursacht.

Anschlussstellen innerhalb einer AID haben einen zusätzlichen, negativen Einfluss auf das Unfallgeschehen, der insbesondere bei einer 3+1 VF zum Tragen kommt. Der Anspruch aus der Vorhabensbeschreibung, Anschlussstellen in die Verkehrsanalysen des Projektes miteinzubeziehen kann somit gefestigt werden.

Zu einer Korrelation zwischen der Verkehrsbelastung und dem Unfallgeschehen existieren verschiedene Aussagen. Es ist lediglich eine Tendenz erkennbar, dass hohe Verkehrsbelastungen in Spitzenzeiten das Unfallrisiko in AID stärker erhöhen als auf unbehinderten Streckenabschnitten. Die Drohnenbefliegungen sind somit vornehmlich in den Spitzenstunden – soweit möglich – umzusetzen.

In den bisherigen Analysen ist nur reaktiv das Unfallgeschehen in AID nach fest definierten Abschnitten beurteilt worden. Auch die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Interaktionen, insbesondere das Brems- und Beschleunigungsverhalten, ist nicht berücksichtigt worden. Für zukünftige Sicherheitsbetrachtungen sind Verkehrsanalysen erforderlich, auf dessen Ergebnissen präventive Maßnahmen getroffen werden können. Der Fokus in der Beurteilung des Verkehrsablaufes wird in dem Projekt somit auf die Risikobetrachtung des Verkehrsablaufs gesetzt.

Das Risiko für einen Unfall in dem System Straßenverkehr beschreibt in diesem Zusammenhang die zwei Teilaspekte Grundrisiko und Sicherheitsspielraum (siehe Abbildung 23). Das Grundrisiko beschreibt den Sachverhalt, dass allein dadurch das Verkehr stattfindet, bereits das Risiko für einen Unfall besteht. Im Normalfall ist allerdings der Sicherheitsspielraum ausreichend groß, so dass es zu keinem Unfall kommt, wenn sich die Regelgrößen nicht gleichzeitig negativ verändern. Solange das Gefäß nicht überläuft, kann das Negativereignis „Unfall“ noch vermieden werden, obwohl sich das Risiko erhöht. Solange das Grundrisiko nur durch zwei Komponenten (z. B. Witterung und Mensch) erhöht wird, reicht der Sicherheitsspielraum möglicherweise noch aus. Kommt ein dritter Einfluss (z. B. Straße) hinzu, ist der Spielraum erschöpft, es kommt zum Unfall.

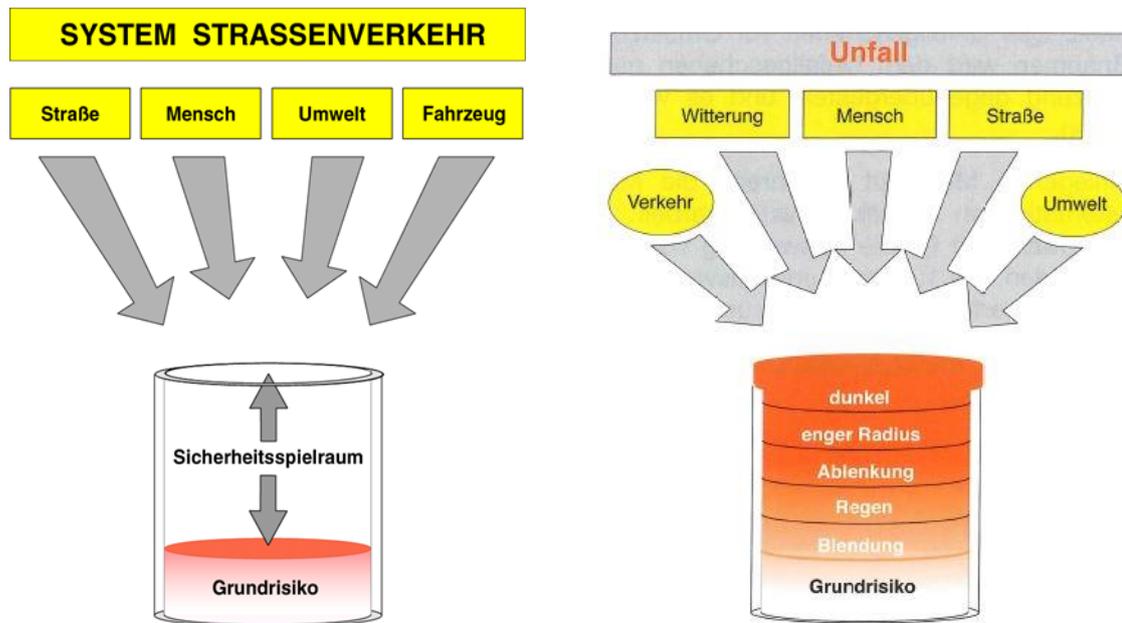


Abbildung 23: Sicherheitsrisiko im System Straßenverkehr

Auf Grundlage der bisher betrachteten Literaturanalysen ist somit in einem ersten Schritt zu überprüfen ob ein erhöhtes Grundrisiko für die Verkehrsführung einer AID vorliegt. Dafür ist ein Streckenabschnitt als Ohne-Fall (keine Arbeitsstelle) mit dem Mit-Fall (Einrichtung einer AID) zu vergleichen. Darauf aufbauend sind verschiedene Arbeitsstellenverkehrsführungen zu untersuchen. Als Auswahlkriterium sind dabei vorwiegend Arbeitsstellen mit einem Fahrstreifeneinzug und/ oder einer Überleitung von mindestens einem Fahrstreifen vorzusehen, da hier nach Literaturangaben höhere Unfallkennwerte auftreten. Auf Basis dieser Kennwerte können die Untersuchungen zudem örtlich auf den Vorlauf- und Überleitungsbereich beschränkt werden. Ebenfalls sollten insbesondere Anschlussstellen im Innenbereich der AID mit in die Verkehrsanalysen einbezogen werden.

Im Rahmen des Sicherheitsspielraums sind in den Auswertungen Randbedingungen (vgl. Tabelle 3) zu berücksichtigen, die über das Grundrisiko hinaus zu einem Unfall geführt haben. Somit können über die bisherigen Unfallanalysen hinaus auch die Gründe für einen Unfall eruiert werden. Als Parameter werden die makroskopischen Verkehrsdaten aus den Messquerschnitten mit einbezogen. Dadurch werden die Verkehrskenngrößen wie mittlere Geschwindigkeit, Verkehrsdichte, Verkehrsstärke und SV-Anteil in die Analysen mit einbezogen. Auf Basis der Tagesganglinien werden zudem die Messzeiträume der Videoaufzeichnungen zu verschiedenen Tageszeiten evaluiert. Das individuelle Fahrverhalten wird durch das Abbilden des Beschleunigungs-, Geschwindigkeits- und Abstandsverhaltens in Längs- und Querrichtung beurteilt. Durch die Generierung kann zudem infrastrukturseitig die Längs- und Querneigung, sowie die Kurvigkeit ermittelt werden. Aufgrund des kurzen Streckenabschnittes werden diese allerdings nicht in die Bewertung der Sicherheitsindikatoren mit einfließen. Umweltfaktoren wie Sichtverhältnisse und Wetter können nur bedingt berücksichtigt werden, da an dieser Stelle die Aufstiegserlaubnis für die Drohne nicht mehr gegeben ist. Dies betrifft auch das Fliegen bei Nacht.

4.5.2 AP 5.2 – Demonstrator Arbeitsstellen – Auswahl Testfelder

Das Ziel des Arbeitspaktes 5.2 ist eine Auswahl von Testfeldern, die die Problematik von Arbeitsstellen auf Autobahnen repräsentiert. Im Fokus stehen Abwägungsentscheidungen bei der Ausgestaltung von Verkehrsführungen und Anschlussstellen. Als Sonderform ist der Richtungswechselbetrieb zu diskutieren. Als Ergebnis des Teilarbeitspaketes wird eine bewertete Auflistung der Testfelder erfolgen.

In Rückblick auf die Erläuterungen im AP 5.1 sind folgende Testfelder in den Untersuchungen vorzusehen:

- Vergleich Mit- und Ohne-Fall eines Streckenabschnittes:

Für diese Betrachtung ist eine AID auszuwählen, die innerhalb der Projektlaufzeit sowohl aufgebaut ist, als auch vollständig wieder zurückgebaut wurde um den Ohne-Fall abzudecken. Bzw. ein Streckenabschnitt ohne AID, bei der die VF während der Projektlaufzeit noch aufgebaut wird.

- Vergleich verschiedener Verkehrsführungen:

Im Idealfall ist für einen Streckenabschnitt eine AID mit mehreren Bauphasen vorgesehen, sodass während der Projektlaufzeit ein Bereich der AID mit zwei verschiedenen VF aufgenommen werden kann.

- Analysen im Vorlauf- und Überleitungsbereich:

Arbeitsstellen ohne Überleitungen werden aufgrund des geringen Einflusses auf den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit nicht untersucht (vgl. AP 5.1). Zudem müssen die Bereiche der AID von beiden Seiten befolgt werden können, damit das Geländemodell erstellt werden kann. Die genauen Restriktionen sind in AP 4.1 dargestellt für den Demonstrator ZRA und gelten ebenso für den Demonstrator AID.

- Vergleich verschiedener Tageszeiten

Die Flüge werden zu verschiedenen Tages- und Wochenzeiten durchgeführt. Die Durchführbarkeit der Drohnenflüge ist dabei an die Restriktionen der Aufstiegserlaubnis gebunden (siehe AP 4.1 Demonstrator ZRA, gilt hier analog für Demonstrator AID).

- Vergleich verschiedener Verkehrszusammensetzungen

Durch die Auswahl verschiedener Tageszeiten und Wochentage werden Aufnahmen bei verschiedenen Auslastungsgraden angefertigt. Der SV-Anteil wird als zusätzliches Merkmal des Streckenabschnittes in Abhängigkeit des Messzeitraumes mit in die Untersuchungen aufgenommen, da auf diesen Parameter nicht direkt Einfluss genommen werden kann.

- Einfluss einer Anschlussstelle

Das Vorhandensein einer AS und die Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsfluss werden beispielhaft an einer AID mit AS betrachtet, sofern die Befliegungen an dieser Stelle vorgenommen werden können.

Als Ausgangslage stehen dem isac die Baubetriebsmeldungen aus dem vergangenen Jahr 2018 zur Verfügung. An diesem Datensatz wurden in einem ersten Arbeitsschritt relevante von zu vernachlässigbaren VF separiert. Als Auswahlkriterium dienen die zuvor erläuterten Parameter aus AP 5.1 und AP 5.2. Dies betrifft insbesondere das Kriterium, dass VF für die weiteren Betrachtungen von Interesse sind, die eine Überleitung von mindestens einem Fahrstreifen aufweisen. Das Weiter ist die Häufigkeit der Arbeitsstelleneinrichtung ein weiterer Parameter zur Auswahl relevanter AID. Bei späteren Verkehrsanalysen sollen nur VF betrachtet werden, die auch in der Praxis eine wesentliche Rolle spielen.

Für Letzteres liegen die koordinierten Baubetriebsmeldungen für die deutschen Bundesautobahnen (Stand 28.02.2018) für das Jahr 2018 vor. Aus Abbildung 24 lassen sich erste Rückschlüsse zu relevanten Behelfsverkehrsführungen ziehen.

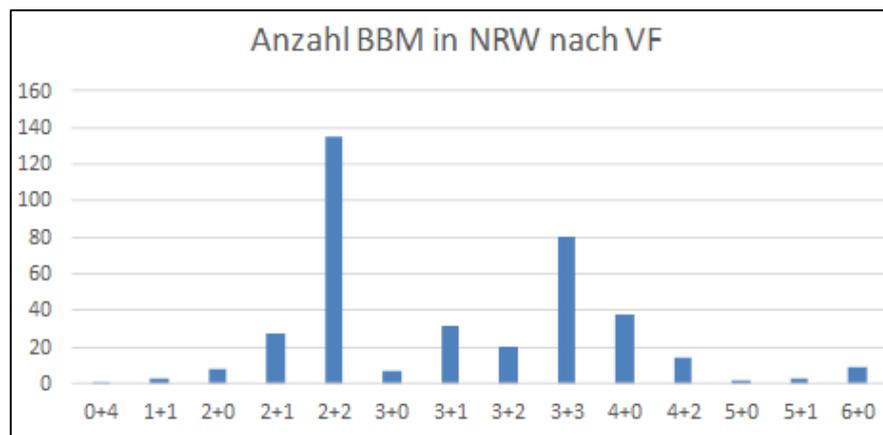


Abbildung 24: Einrichtung von AID in NRW nach VF [eigene Darstellung]

Demnach sind für das Jahr 2018 insgesamt 1307 koordinierten BBM in der Bundesrepublik dokumentiert worden. Für das laufende Jahr 2018 werden in NRW 380 AID ausgeführt, die nach der folgenden Auswahl relevanter AID (Abbildung 25) als potentielle Testfelder betrachtet werden können.

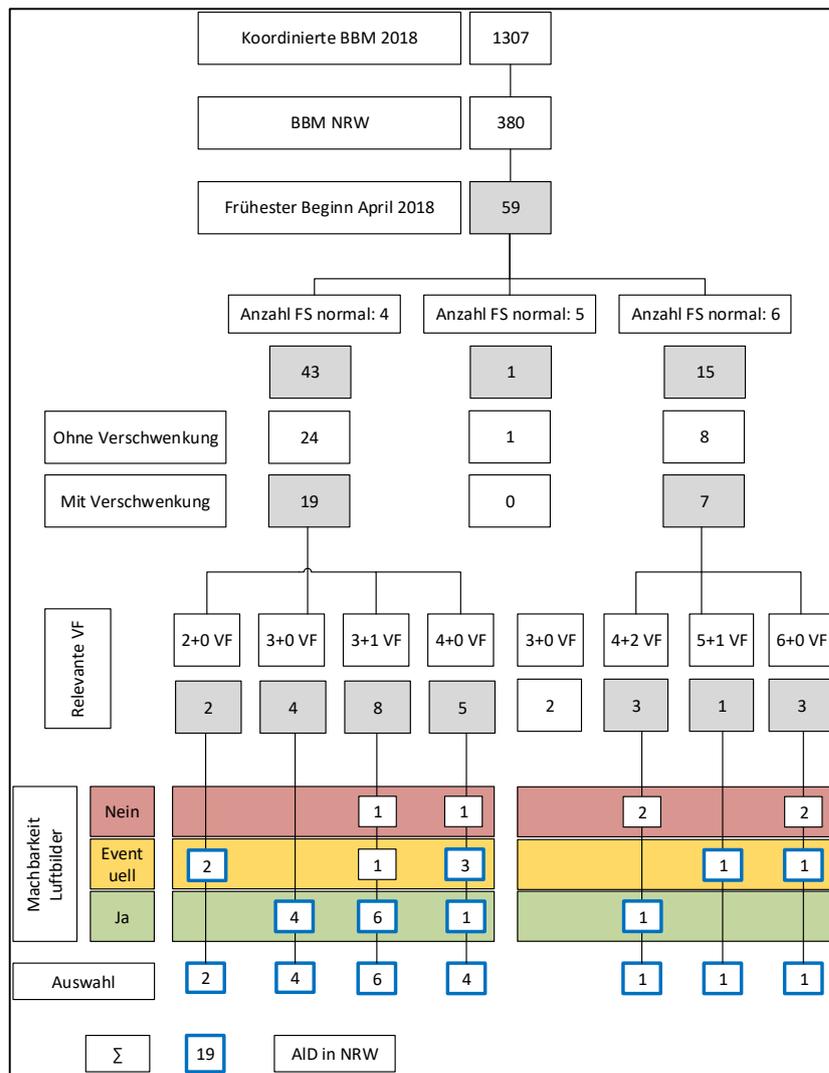


Abbildung 25: Ermittlung relevanter AID in NRW [eigene Darstellung]

Aus der Abbildung 25 geht hervor, dass aus 380 Baubetriebsmeldungen (BBM) in NRW 59 Arbeitsstellen ab April im Jahr 2018 neu eingerichtet werden. Aus Kapazitäts- und Verkehrssicherheitsgründen sind vordergründig Behelfsverkehrsführungen mit Überleitung von mindestens einem Fahrstreifen von Bedeutung. Von diesen 26 in NRW gemeldeten AID entfallen 19 auf einen 4-streifigen und 7 auf einen 6-streifigen Regelquerschnitt.

Neben der ersten Vorauswahl mussten die relevanten VF hinsichtlich der Durchführbarkeit bewertet werden. In Zusammenarbeit mit Sky-High-View sind die Testfelder hinsichtlich Restriktionen der Drohnenbefliegungen von beiden Seiten der Straße (vgl. vorgestellte Methodik) eruiert worden. Als Restriktionen sind hierbei insbesondere Flugverbotszonen, Naturschutzgebiete und naheliegende Wohnbebauungen zu nennen. In Folge dessen mussten zum Stand 01.04.2018 bereits sechs weitere AID entfallen (Machbarkeit: „Nein“). Für acht Arbeitsstellen wird eine genauere Standorterkundung anhand von Musterplänen zur Arbeitsstelleneinrichtung und zusätzlichen Vororterkundungen als notwendig angesehen (Machbarkeit: „Eventuell“). Bei den verbleibenden zwölf AID ist generell eine Aufnahme durch Luftbilder möglich (Machbarkeit: „Ja“).

Die Auswahl verteilt sich auf die Verkehrsführungen 3+0 (4), 3+1 (6), 4+0 (1), 4+2 (1). Eine Erweiterung der Testfelder um die 4+0, 5+1 und 6+0 VF scheint erstrebenswert um vergleichende Betrachtungen von Einrichtungsalternativen zu ermöglichen. Aus AP 5.1 resultiert somit eine Vorauswahl von AID, die ein möglichst breites Spektrum relevanter Arbeitsstellen wiedergibt. Durch Einschränkungen bei den Drohnenflügen und dynamischen Anpassungen in der Baustellenplanung können nicht alle AID als Testfelder aufgenommen werden. Nach Rücksprache mit Straßen.NRW ergeben sich zunächst folgende Testfelder (Stand: 25.04.2018) als Basis für die späteren Demonstratoren:

Tabelle 4: Auswahl AID in NRW als Testfelder

Ifd Nr.	BAB	Streckenabschnitt		Dauer			Parameter Arbeitsstelleneinrichtung					
		AS Anfang	AS Ende	Beginn	Ende	Ende Gesamtmaßnahme	Länge	vzul	Bemerkung	VF	FS normal	Anm.
1	A46	Haan-Ost	Wuppertal-Cronenberg	27.03.2017	14.09.2018	01.05.2020 23:59	1,7	80	starke Staugefahr	4+0	4	
2	A43	Witten-Herberde	Sprockhövel	06.04.2018	03.07.2018	27.04.2018 00:00	1,5	80	k.A.	3+1	5	
3	A553	Brühl-Ost	Brühl-Nord	08.04.2018	18.05.2018	23.06.2018 23:59	2,05	80/60	keine Staugefahr	3+0	4	RWB
4	A1	Wermelskirchen	Burscheid	09.04.2018	27.07.2018	31.01.2019 00:00	3,8	80	geringe Staugefahr	4+2	6	
5	A3	Solingen	Leverkusen	21.04.2017	07.07.2018	15.11.2020 00:00	7,39	80	starke Staugefahr	4+2	7	
6	A46	Holz	Jüchen	05.11.2017	12.05.2018	30.06.2018 00:00	2,7	80	geringe Staugefahr	3+1	4	

Für die Testfelder mit den laufenden Nummern 1, 2 und 4 konnte die Methodik zur Ableitung des digitalen Abbilds der Straße und der Videoaufnahmen zur Verkehrsbeobachtung umgesetzt werden. Der Vergleich einer 4+0 VF mit einer 3+1 VF und einer 4+2 VF ist unter verschiedenen verkehrlichen Randbedingungen somit möglich. Die erfolgten Verkehrsbeobachtungen werden im Detail in Unterkapitel 4.5.3 aufgeführt.

Die AID Brühl-Ost auf der BAB 553 konnte nicht umgesetzt werden, da Vorortuntersuchungen ergeben haben, dass sich an einem Ende Starkstromleitungen mit der BAB kreuzen. Das andere Ende kann aufgrund der Nähe zum Standort der Bereitschaftspolizei nicht befliegen werden. Damit kann die einzige Wechselverkehrsführung im Jahr 2018 in NRW nicht analysiert werden. Nach Aussagen des Ansprechpartners von Straßen.NRW vom 11.01.2019 werden zudem im Jahr 2019 keine Wechselverkehrsführungen durchgeführt.

Für das Jahr 2019 sind weitere AID ausgewählt worden, durch die insbesondere auch die Problematik der Anschlussstellen in temporären Verkehrsführungen repräsentiert werden sollen. Die Auswahl der Arbeitsstellen ist im Jahr 2019 abgeschlossen worden. Die finale Auswahl der AID kann Tabelle 5 entnommen werden.

Testfeld	Streckenabschnitt		
	Demo	BAB	von nach
1 <i>Überleitung</i>	1	Burscheid	Wermelskirchen
2 <i>Überleitung</i>	43	Witten-Herbede	Sprockhövel
3 <i>Überleitung</i>	46	Haan-Ost	Wuppertal-Cron.
4 <i>Anschluss- stelle</i>	535	AS Bonn-Beuel	
5 <i>Anschluss- stelle</i>	2	AS Kamen-Bergkamen	

Tabelle 5: Übersicht Demonstratoren AID

Darüber hinaus sind in Anhang 7.3 für jeden Demonstrator Skizzen dargestellt, welche die temporäre Verkehrsführung auf dem Autobahnabschnitt, den Bereich der Aufnahme aus der Drohnenperspektive und die Lage der MQ von Straßen.NRW veranschaulichen.

4.5.3 AP 5.3 – Demonstrator Arbeitsstellen – Verkehrsbeobachtungen

Die Verkehrsbeobachtungen stellen den Kompromiss aus den notwendigen Zeiten für die Verkehrsanalyse (Terminplan) und den Restriktionen, die den Drohnenflügen auferlegt sind dar. Geografische Restriktionen sind mit der Auswahl der Testfelder bereits berücksichtigt worden und werden an dieser Stelle nicht mehr aufgeführt.

Für die grundlegende Terminplanung der Drohnenflüge werden auf Basis der Literaturrecherche Zeiten ausgewählt, in denen die Verkehrsbelastung am höchsten ist. Die Gefahr durch entstehende Staus an den Engstellen der Arbeitsstelle kann somit analysiert werden. Typische Tageszeiten sind hierfür werktags von 07:00 bis 08:00 Uhr (vgl. Tabelle 6) (Vormittagsintervall) und von 15:00 bis 18:00 Uhr (Nachmittagsintervall).

Tabelle 6: Tagesgruppe Montag, Typen A und B: Häufigkeitsverteilung der Maximalbelastungen nach Maximalstunde getrennt nach alten und neuen Bundesländern [Pinkofsky, P., 2005]

Maximalstunde (Fallzahl)	5.00-6.00	6.00-7.00	7.00-8.00	8.00-9.00	Summe
Alte BL (304)	0	16	81	3	100
Neue BL (68)	4	81	14	1	100

Demgegenüber stehen Restriktionen, die die Durchführbarkeit der Drohnenflüge nicht ermöglichen. Diese können in planbare und zufällige Ereignisse unterschieden werden. Als

grundsätzliche Voraussetzung für die Wahl von Erhebungszeiten sind Zeiträume mit dem höchsten Verkehrsaufkommen zu wählen, da die Verkehrsdichte im Verlauf des Tages erheblich schwankt.

Planbare Ereignisse ergeben sich aus den Randbedingungen der Umgebung und den notwendigen Kriterien für eine Verkehrsbeobachtung. Als Randbedingung ist zu nennen, dass die Drohnenflüge nur bei Tageslicht, also zwischen **Sonnenaufgang und Sonnenuntergang** durchgeführt werden können. Wie Abbildung 26 zeigt, ist der Sonnenaufgang (orangene Linie) im Beispiel Oktober erst nach dem vorgesehenen Messintervall. Die Verkehrsanalysen werden in dem Fall auf diesen Zeitpunkt verschoben. Im Nachmittagsintervall wird das Ende durch den Sonnenuntergang beeinflusst. Dieser ist besonders nach der Zeitumstellung (28.10.2018) von Bedeutung. Die Flüge sind dann bereits gegen 17:00 Uhr zu beenden.

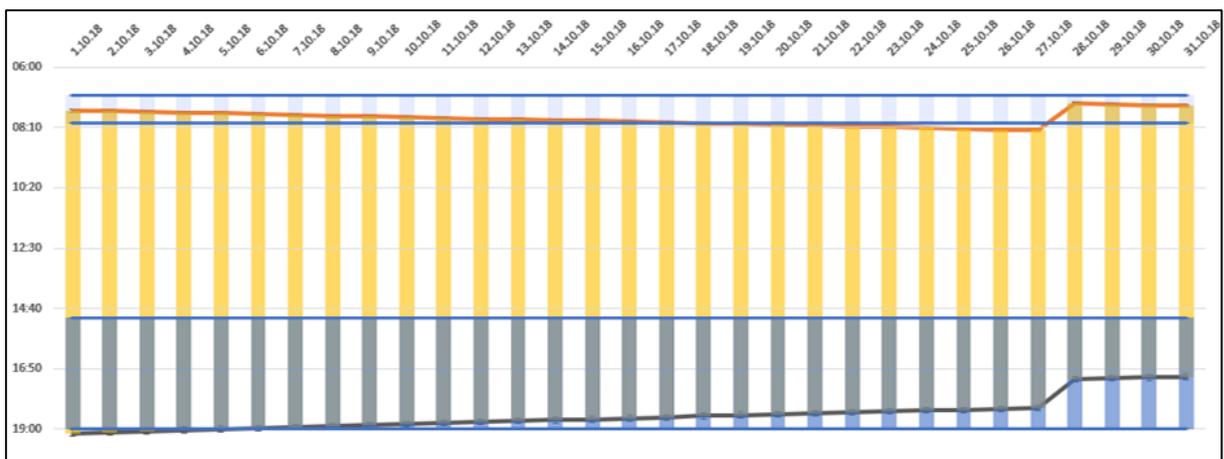


Abbildung 26: Mögliche Messzeiträume in Abhängigkeit der Tageszeit, Oktober 2018

Weitere planbare Ereignisse als Restriktionen für die Terminplanung der Drohnenflüge bestehen in der **Verfügbarkeit** des Unterauftragnehmers, sowie Besonderheiten durch die **Arbeiten in der Arbeitsstelle** (Auf-, Um-, oder Abbau mittels AkD).

Neben den planbaren Ereignissen und der Berücksichtigung der Tageslichtzeiten sind im Vorhinein der Befliegungen auch **zufällige Ereignisse** zu berücksichtigen. Dies betrifft insbesondere die **lokale Wetterlage**. Bei Regen, schlechten Sichtverhältnissen durch Nebel oder starken Winden kann mit der Drohne nicht geflogen werden, was durch den Steuerer der Drohne zu entscheiden ist in Verbindung mit dem eingesetzten Fluggerät. Dies kann nur durch eine kurzfristige Zeitplanung und eine eventuelle Absage der Befliegungen gewährleistet werden.

In Bezug auf AID treten weitere zufällige Ereignisse auf, wenn kurzfristig Arbeitsstellen kürzerer Dauer (AkD) eingerichtet werden, um Anpassungen an der VF oder Reinigungsarbeiten vorzunehmen. Diese werden erst kurzfristig durch die jeweils zuständige Autobahnmeisterei festgelegt und müssen in den Verkehrsanalysen ggf. als weiterer Einflussfaktor auf den Verkehrsfluss berücksichtigt werden.

Die Verkehrsbeobachtungen sind im Jahr 2018 erstmals an AID erprobt worden. Das Videomaterial wurde daraufhin hinsichtlich der Beobachtungsperspektive und gefährlicher

Fahrzeuginteraktionen in Bezug auf den Verkehrsfluss gesichtet. Daraufhin ist das Messkonzept für die Verkehrsbeobachtungen im Jahr 2019 angepasst und auf weitere Standorte erweitert worden. Die endgültigen Messzeiträume und die Anzahl der erstellten Videos sind getrennt nach den einzelnen Demonstratorstandorten in Tabelle 7 aufgelistet.

Tabelle 7: Übersicht der durchgeführten Messungen für Demonstratoren AID

Testfeld	Streckenabschnitt			Drohnenaufnahmen	
	Demo	BAB	von	nach	Datum	Anzahl Videos
1 <i>Überleitung</i>	1	Burscheid	Wermelskirchen	07.05.2018	9
				27.06.2018	15
2 <i>Überleitung</i>	43	Witten-Herbede	Sprockhövel	08.05.2018	5
				29.06.2018	15
				31.07.2018	12
				26.02.2019	28
3 <i>Überleitung</i>	46	Haan-Ost	Wuppertal-Cron.	31.07.2018	11
				26.10.2018	16
				14.01.2019	16
				21.01.2019	16
				25.02.2019	11
				01.03.2019	1
				24.03.2019	29
				26.03.2019	16
				13.05.2019	8
22.05.2019	16				
27.05.2019	31				
29.05.2019	20				
4 <i>Anschluss- stelle</i>	535	AS Bonn-Beuel		13.05.2019	15
				14.05.2019	16
				15.05.2019	16
				21.06.2019	16
5 <i>Anschluss- stelle</i>	2	AS Kamen-Bergkamen		16.05.2019	30
				23.05.2019	16
				14.06.2019	14
				03.07.2019	16

Bei 3 Demonstratoren werden temporäre Verkehrsführungen mit der Überleitung von einem oder mehreren Fahrstreifen betrachtet. Gegenüber AID ohne Überleitung weisen diese, nach der Literaturanalyse zu urteilen, höhere Unfallkostenraten und -dichten auf.

Als weiterer unfallträchtiger Bereich sind Anschlussstellen innerhalb von Arbeitsstellen zu nennen. Ohnehin erfordern Einfahrten an BAB die hohe Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer. Durch verkürzte Einfädelungsstrecken und schmalere Fahrstreifen sowie der Überlappung von dauerhaften und temporären Markierungen treten gefährliche Fahrsituation öfter auf. Die besonderen Gegebenheiten werden durch die Demonstratoren 4 und 5 wiedergeben.

4.5.4 AP 5.4 – Demonstrator Arbeitsstellen – Veredlung / Verschneidung

Damit aus den analysierten Einzelfahrzeugdaten in Bezug auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf Rückschlüsse auf eventuelle Schwachstellen in der (temporären) Verkehrsführung geschlossen werden können, ist ein Bezug zwischen der Straße und den Fahrzeugtrajektorien herzustellen. Mit der Digitalisierung der Infrastruktur und mit der Erstellung der georeferenzierten Punktwolken stehen alle Informationen für die digitale Verschneidung zur Verfügung, da sowohl die Fahrbahnmarkierungen als auch die 3D-Fahrlinien im UTM-Koordinatensystem angegeben sind. Die digitale Verschneidung erfolgt durch die Angabe der einzelnen Fahrzeugpositionen in Bezug auf die Fahrbahnmarkierungen. Dadurch können die Fahrzeuge nicht nur den Fahrstreifen zugeordnet werden, sondern es kann auch die Position eines Fahrzeugs innerhalb eines Fahrstreifens ermittelt werden.

4.5.5 AP 5.5 – Demonstrator Arbeitsstellen – Kriterien zur Bewertung

Da während der Datenerfassung die Beobachtung einer Wechselverkehrsführung nicht möglich war, konzentriert sich die Analyse auf die Problematik von Anschlussstellen in temporären Verkehrsführungen und auf die Sicherheit der unterschiedlichen Sektionen der temporären Verkehrsführungen.

Die Grundlage für die Bewertung des Verkehrsablaufs und der Verkehrssicherheit in AID stellen die Analyse der Impulsdaten der Fahrzeuge und die mikroskopischen Sicherheitsindikatoren aus der Anforderungsanalyse aus Kapitel 4.1 dar. Hierbei werden das Fahrverhalten und die Fahrzeuginteraktionen auf Basis der digitalen Verschneidung zwischen Fahrbahn und Fahrzeugtrajektorien sowie des Geschwindigkeits-, Brems- und Beschleunigungsverhalten nach folgenden Kriterien analysiert:

1. Fahrzeugpositionen auf der Fahrbahn: Wo befinden sich die Fahrzeuge in Bezug auf die Fahrbahnmarkierungen?
2. Ablauf des Geschwindigkeitsprofils in Fahrtrichtung und quer zum Fahrstreifen entlang der Straße
3. Abstandsverhalten zum vorausfahrenden Fahrzeug
4. Ablauf des Beschleunigungsprofils in Fahrtrichtung und quer zum Fahrstreifen entlang der Straße
5. Änderung der Indikatorwerte SD, TTC und DCIA zwischen Fahrzeugen entlang der Straße

Für die Analyse der Fahrzeuginteraktionen wurden sogenannte Fahrzeugpaare nach folgenden zwei Bedingungen gebildet. 1.) Zwei Fahrzeuge, die auf dem gleichen Fahrstreifen hintereinander fahren, bilden ein Fahrzeugpaar. 2.) Zwei Fahrzeuge, die auf benachbarten Fahrstreifen fahren, bilden ein Fahrzeugpaar, wenn sie anhand ihrer momentanen Impulsdaten in der Zukunft kollidieren könnten. Diese Betrachtungsweise erlaubt die Analyse der Interaktion auch während einem Fahrstreifenwechsel, die eine besondere Bedeutung bei der Analyse der Anschlussstellen innerhalb einer AID hat. Die Fahrzeugpaare wurden für alle 0,1 Sekunden gebildet, damit die Änderungen in der Bewegung der gegebenen Fahrzeuge

(z.B. Ende des Fahrstreifenwechsels) berücksichtigt und dadurch das Bestehen der Fahrzeugpaar überprüft werden konnten.

Die 5 Analysekriterien werden durch das Beispiel des Demonstrators *Witten-Herbede – Sprockhövel* vorgestellt. Die Ergebnisse sind im UTM-Koordinatensystem mit Abbildung der Fahrbahnmarkierungen dargestellt.

1.) *Fahrzeugpositionen auf der Fahrbahn: Wo befinden sich die Fahrzeuge in Bezug auf die Fahrbahnmarkierungen?*

Durch die digitale Verschneidung der Infrastrukturdaten (Fahrbahnmarkierungen) und 3D-Fahrlinien ist es möglich den Bezug der Fahrzeugpositionen zur Fahrbahnmarkierung und damit die Positionen innerhalb des Fahrstreifens zu ermitteln. Es wurden die Verteilungen der Positionsdaten (Mittelpunkt der Fahrzeuge) quer zum Fahrstreifen in jeder 5m Abschnitt entlang der Straße innerhalb der Demonstratoren gebildet und davon die 25% und 75% Quantile berechnet. Damit sind die Bereiche innerhalb jedes Fahrstreifens ermittelt worden, die von 50% der Fahrzeuge benutzt werden (Siehe Abbildung 2 in Anlage *Analyseergebnisse AID*). Dadurch lässt sich das Verhalten der Fahrzeuge in Abhängigkeit der befahrenen Fahrstreifen bestimmen. Außerdem wurde analysiert, ob die Fahrzeuge die Fahrbahnmarkierungen ohne den Vorsatz von Fahrstreifenwechsel schneiden. Damit lassen sich Schwachstellen in Ausbau bzw. Führung der Fahrstreifen erkennen.

2.) *Ablauf des Geschwindigkeitsprofils in Fahrtrichtung und quer zum Fahrstreifen entlang der Straße*

Aus den 3D-Fahrlinien wurden die (kontinuierlichen) Fahrzeugtrajektorien gebildet (siehe DMP). Dieser Schritt ermöglicht die Ableitung der Geschwindigkeiten und Beschleunigungen der Fahrzeuge alle 0,1 Sekunden, sowohl in Fahrtrichtung als auch quer zum Fahrstreifen. Diese Geschwindigkeitswerte (separat in Fahrtrichtung und quer zum Fahrstreifen) wurden dann in jedem 5m Abschnitt entlang des gegebenen Fahrstreifens aufsummiert und der Durchschnittswert wurde gebildet. Dadurch lassen sich Geschwindigkeitsänderungen entlang der Straße erkennen (Siehe Abbildungen 3 und 4 in Anlage *Analyseergebnisse AID*).

3.) *Ablauf des Beschleunigungsprofils in Fahrtrichtung und quer zum Fahrstreifen entlang der Straße*

Ähnlich wie beim vorherigen Punkt wurden die Durchschnittswerte der Beschleunigungen separat in Fahrtrichtung und quer zum Fahrstreifen in jedem 5m Abschnitt berechnet (Siehe Abbildungen 5 und 6 in Anlage *Analyseergebnisse AID*).

4.) *Abstandsverhalten zum vorausfahrenden Fahrzeug*

Die Nettoraumlücken wurden zwischen aufeinanderfolgenden Fahrzeuge auf demselben Fahrstreifen alle 0,1 Sekunden bestimmt. Da bei einem Abstand von größer als „halber Tacho“ - dadurch in Arbeitsstellen größer als 40 m - die Fahrzeuge wenig Einfluss auf das Fahrverhalten des nachfolgenden Fahrzeugs haben, wurde der Durchschnitt der Nettoraumlückenwerte nur unter 40 m berechnet. Diese Werte wurden für jeden 5m Abschnitt entlang der Fahrstreifen für die Position des nachfolgenden Fahrzeugs ermittelt berechnet

(Siehe Abbildung 7 in Anlage *Analyseergebnisse AID*). Dadurch ist zu erkennen, ob die Fahrzeuge an gegebenen Stellen im Durchschnitt weniger Abstand halten.

5.) Änderung der Indikatorwerte TTC, SD und DCIA zwischen Fahrzeugen entlang der Straße

Die im Kapitel 4.1 vorgestellten Sicherheitsindikatoren TTC, SD und DCIA wurden zwischen den Fahrzeugpaaren bestimmt. Da die Anzahl der Fahrzeuge innerhalb eines Demonstrators und dadurch auch die Anzahl der gebildeten Fahrzeugpaare abweichen, wurden die Sicherheitsindikatorwerte folgenderweise berechnet bzw. normiert. Die Fahrzeugpaare wurden, wie oben beschrieben, alle 0,1 Sekunden gebildet und die Sicherheitsindikatoren wurden ebenfalls alle 0,1 Sekunden zwischen den Fahrzeugpaaren berechnet. Das bedeutet, dass ein Fahrzeugpaar, während die Fahrzeuge einander folgten, mehrere Indikatorwerte (alle 0,1 Sekunden einen) haben. Aus diesen wurden die kritischsten Werten der TTC, SD und DCIA eines Fahrzeugpaars ermittelt. Da ein Sicherheitsindikator die Situation von der Perspektive des nachfolgenden Fahrzeugs beschreibt, wurden die kritischsten Indikatorwerte zu den Positionen des nachfolgenden Fahrzeugs in der Infrastruktur verortet. Es wurde gezählt, wie oft es vorkam, dass diese verorteten Indikatorwerte den Schwellwert unter- bzw. überschritten haben ($SD < 0m$, $TTC \leq 3 s$, $DCIA \geq 3,4 m/s^2$). Diese Zählung passierte wie bei den vorherigen Punkten für jeden 5m Abschnitt entlang des gegebenen Fahrstreifens. Um die unterschiedlichen Demonstratoren miteinander vergleichen zu können, wurde die Anzahl der Unter- bzw. Überschreitungen der Schwellwerte in den gebildeten Abschnitten durch die Anzahl der durch den gegebenen Abschnitt passierten Fahrzeuge normiert und in *Anzahl pro 100 Fahrzeuge* ausgedrückt (Siehe Abbildungen 8, 9 und 10 in Anlage *Analyseergebnisse AID*).

4.5.6 AP 5.6 – Demonstrator Arbeitsstellen – Handlungsempfehlungen

Durch die Analyse der Demonstratoren wird gezeigt, dass die in DROVA entwickelte Methodik mittels flächenbezogenen mikroskopischen Verkehrsdaten einen Mehrwert bringt und die Datenanalyse eine neue Perspektive bei der Untersuchung der Verkehrssicherheit in Arbeitsstellen bietet. Durch die Verschneidung der Infrastrukturelemente (u. a. temporäre Fahrbahnmarkierungen) und der 3D-Fahrlinien lassen sich Schwachstellen des Ausbaus einer Arbeitsstelle bzw. Abweichungen von den Regelplänen erkennen. Weiterhin ermöglicht es die Darstellung des Einflusses des Ausbaus auf das Fahrverhalten und dadurch auf das Unfallrisiko. Die Methodik bietet im Vergleich zu Unfalluntersuchungen weiterhin den Vorteil einer zeiteffizienten Analyse der Sicherheit, da die sicherheitskritischen Fahrmanöver durch die Analyse des Fahrverhaltens einzelner Fahrzeuge und der Interaktionen zwischen Fahrzeugen unmittelbar nach der Datenerfassung ausgewertet werden können. Die Datenerfassung mittels Drohnen ermöglicht eine schnelle Bewertung der Infrastruktur, da die kritischen Stellen bereits an Daten erkennbar sind, die über einen Zeitraum weniger Stunden gesammelt worden sind. Dies bietet die Möglichkeit, den Ausbau der Verkehrsführung noch während der Durchführung der Arbeitsstelle zu korrigieren bzw. nachzubessern.

Durch die im Projekt entwickelte Methodik und Auswertungskriterien (siehe Kapitel 4.5.5) sind zudem verschiedene Vergleiche der Arbeitsstellen bzw. Anschlussstellen innerhalb einer AID möglich:

1. Bewertung eines Streckenabschnitts sowohl Ohne-Fall als auch mit temporärer Verkehrsführung (Vorher-Nachher-Analyse).
2. Überprüfung des Ausbaus einer Arbeitsstelle und der Abweichungen zum Regelplan (z.B. Überprüfung, ob die Fahrstreifenbreite im Innenbereich konstant ist).
3. Vergleich der Überleitungen von verschiedenen ausgeführten Verkehrsführungen in Abhängigkeit der Anzahl von übergeleiteten Fahrstreifen.
4. Vergleich des Sicherheitsniveaus zwischen Verkehrsführungen mit unterschiedlicher Fahrstreifenanzahl bzw. Fahrstreifenbreite mittels Indikatoren im Hinblick auf die Verkehrsbelastung.
5. Bewertung der Länge einer Anschlussstelle innerhalb einer AID bezüglich der Verkehrsbelastung im Hauptfahrstreifen bzw. der Anzahl der Fahrstreifenwechsel von Hauptfahrstreifen auf die Überholfahrstreifen.
6. Vergleich der verschiedenen Verkehrsführungstypen innerhalb einer AID. Neben der Umlegung der Verkehrsführung einer AID kann auch die Beobachtung und Analyse von Arbeitsstellen kürzerer Dauer (AkD) für den Umbau der AID mit einfließen.

Zur Durchführung dieser Auswertungen sollen folgende Aspekte berücksichtigt werden:

1. Für die Vorher-Nachher-Analyse und zum Vergleich unterschiedlicher Verkehrsführungen (sowohl innerhalb einer Baustelle als auch zwischen unterschiedlichen Baustellen) sollen Verkehrserhebungen in gleichen Zeiträumen (z.B. Morgenspitzenstunde), zu gleichen Jahreszeiten, mit gleichen Zeitdauern und unter ähnlichen Wetterbedingungen geschehen.
2. Da die Verkehrsbelastung bzw. der Schwerverkehrsanteil in unterschiedlichen Arbeitsstellen abweichen können, sollen die Ergebnisse zum besseren Vergleich normiert werden (siehe Kap 4.5.5).
3. Die Verkehrserhebungen zum Vergleich unterschiedlicher Arbeitsstellen sowie verschiedener Verkehrsführungen innerhalb einer Arbeitsstelle sollen in gleichen Untersuchungsabschnitten der Baustelle (siehe Abbildung 20) geschehen.

4.6 AP 6 – Machbarkeitsstudie

In diesem AP werden die Möglichkeiten eines Onlinemonitorings und einer Onlinesteuerung untersucht. Im Zuge der Durchführung der vorhergehenden Arbeitspakete und erneut speziell in diesem AP wurde nachgehalten und untersucht, wie eine technische Umsetzung der im Projekt erarbeiteten Ergebnisse für eine Verkehrsbeeinflussung in Echtzeit möglich wäre.

4.6.1 AP 6.1 – Machbarkeitsstudie – Machbarkeit Onlinemonitoring

In AP 6.1 wird sich vorrangig auf die Echtzeitfähigkeit des Monitorings, also die Erfassung der Fahrzeugtrajektorien einschließlich deren Bezug zum Fahrraum konzentriert. Dazu wurden die Laufzeiten und die Leistungsfähigkeit der verwendeten Hardware betrachtet. Ergänzend wurde für die Betrachtung der inhaltlichen Machbarkeit zunächst ein anwendungsbezogenes Szenario definiert und dann vertiefend analysiert.

Im Bereich der Bildverarbeitung spielen vor Allem die Ausmaße der erfassten Bilder eine große Rolle. Auf herkömmlicher und der im Projekt verwendeten Hardware können Bilder nur bis zu einer gewissen Größe in Echtzeit verarbeitet werden. Eine Verarbeitung von 640x480 Pixel großen Bildern (VGA Auflösung) ist auch unter Verwendung eines herkömmlichen Prozessors (CPU) möglich. Die im Projekt erfassten Bilder sind jedoch bis zu 4096x2160 Pixel groß, was einer Vervielfachung der Gesamtinformation um einen Faktor 30 entspricht. Hier hat die CPU keine Chance mehr und lediglich Grafikkarten (GPU) basierte Algorithmen können eine Echtzeitfähigkeit erreichen. Um dies zu überprüfen, wurden die ersten Verarbeitungsschritte testweise auf GPU umgesetzt. Aber auch hier spielt die Hardware eine entscheidende Rolle und die verwendete GPU konnte die Berechnungen zwar um einen Faktor 10 beschleunigen, nicht aber in Echtzeit arbeiten. Hier würde eine noch leistungsfähigere Hardware benötigt, die auf dem Markt verfügbar, aber im Projekt nicht eingeplant war.

Ein weiterer beschränkender Einfluss ist die Anzahl der im Bild vorhandenen Fahrzeuge. Je größer das Untersuchungsfeld (mit Drohnenperspektive bis zu 400 Meter), desto mehr Fahrzeuge müssen gleichzeitig erfasst und verfolgt werden. Besonders in Situationen mit einer hohen Verkehrsdichte (Stau) führt dies zu einer beträchtlichen Reduktion der Geschwindigkeit. Um dem entgegenzuwirken, wurden Multithreading Methoden verwendet, die zwar einen Einfluss zeigen, aber keinen Echtzeitbetrieb ermöglichen. Stattdessen muss auch hier auf die Arbeit mit der GPU gesetzt werden, entsprechende Methoden müssen aber selber umgesetzt werden, da es keine vorgefertigten Bibliotheken gibt. Dies war im Projekt für die Prototyperstellung nicht vorgesehen, es wird aber in Zukunft weiter darauf hingearbeitet.

Die Grenzen für ein Onlinemonitoring liegen technisch in der Größe und Leistung der verwendeten Hardware, der Größe des Untersuchungsbereichs sowie der Größe der aufgenommenen Bilder/Videos. Wenn die Kombination stimmt, ist das Monitoring von Standpunkt der Bildauswertung auf jeden Fall möglich.

Beispiele für ein Onlinemonitoring (technisch orientierte Szenarien):

- Geringe Auflösung (VGA), bis zu 100 Meter Erfassungsbereich, leistungsstarke CPU (auch als Roadsiteunit realisierbar) - mit aktueller Software umsetzbar
- Hohe Auflösung (UHD), bis zu 400 Meter Erfassungsbereich, sehr leistungsstarke GPU (eher als Serverlösung realisierbar) - Weiterentwicklung der Software notwendig

Teilfazit zur technischen Machbarkeit eines Onlinemonitoring (isac): Von Seiten der Datenverarbeitung ist ein Onlinemonitoring möglich mit entsprechender Hardware oder einer Reduktion der Anforderungen. Jedoch sollte in diesem Zuge auch die Möglichkeit von

mehreren stationären Kameras am Fahrbahnrand in Betrachtung gezogen werden, da hier die Auswertung auf mehrere kleine Einheiten verteilt werden kann.

Aus anwendungsorientierter Sicht wird auf die vorstehend beschriebenen technisch, orientierten Szenarien aufgesetzt und auch Aspekte der in den Demonstratoren von der Erfassung des Fahrraums bis hin zur Beobachtungsplattform eingesetzten Drohnen betrachtet.

Für die Demonstratoren Zuflussregelungsanlagen (ZRA) und Arbeitsstellen längerer Dauer (AID) waren gezielt Anwendungsszenarien ausgewählt worden, die auch bei einer Analyse, der von einer Einzeldrohne aus aufgenommenen Videos, aussagekräftige Ergebnisse erwarten ließen. Als Beispiel sei für die ZRA erläutert, dass mit den realisierten ca. 180 m bis 200 m Analysestrecke zwischen Ein- und Ausfahrquerschnitt der Hauptfahrbahn der betreffenden Einfahrt aussagekräftige Ergebnisse für diesen punktuell wirksamen Anlagentyp abgeleitet werden konnten. Damit hat sich die in DROVA entwickelte Methodik der nicht-invasiven Erfassung von Verkehrsdaten und die ergänzende Analyse des Verkehrsablaufs in einem funktional relevanten Bereich praktisch bewährt.

Vor der Definition und weiteren Betrachtung eines inhaltlichen Anwendungsszenarios für ein Onlinemonitoring seien hier die wesentlichen bekannten Restriktionen für die bisher entwickelte und an Demonstratoren erprobte Methodik aufgeführt:

- Verfügbarkeit einer dem Anwendungszweck angemessenen Abbildung des Fahrraums (war bei den Demonstratoren von DROVA nicht gegeben, es war eine eigene Erhebung bei allen Demonstratoren erforderlich)
- Durchführbarkeit einer aktuellen Erhebung des Fahrraums z.B. mittels Drohnenflug (kostengünstig, hinreichend genau) nach den gesetzlich vorgeschriebenen Flugbedingungen oder alternativ mit Rotationslaserscannern (kostenintensiv, hochgenau)
- Zulässigkeit des Flugeinsatzes einer Drohne für die Beobachtungsflüge und die relevanten Blickrichtungen, häufig nach geltendem Recht kostenwirksame und organisatorische aufwändige Auflagen im Bereich des kontrollierten Luftraums oder auch darüber hinaus gehende Restriktionen z.B. bei angrenzender Wohnbebauung
- Bauliche, topographische und vom jahreszeitlich typischen Bewuchs am Straßenrand gesteckte Randbedingungen durch teilweise oder auch vollständige Verdeckung der Perspektive auf den Fahrraum bzw. die zu beobachtenden Fahrzeuge
- Unterbrechung der Erzeugung und in der Folge auch Analyse der Einzelfahrzeugtrajektorien verursacht durch Akkuwechsel oder wegen abschnittsweiser Analyse der Videostreams mit begrenzten Dateigrößen.

Gemäß dem „Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen“ [MARZ 2018] werden folgende Anlagentypen nach den Einsatzbereichen unterschieden:

- Netzbeeinflussungsanlagen (NBA)
- Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA)
- Anlagen zur temporären Seitenstreifenfreigabe (TSF)

- Knotenpunktbeeinflussungsanlagen (KBA)
 - Zuflussregelung (ZRA)
 - variable Fahrstreifenzuweisung (FSZ)
- Temporäre Verkehrstelematische Systeme (meist bei Arbeitsstellen).

Prinzipiell könnte ein Einsatz der bei DROVA anhand von Demonstratoren erprobten und nachweislich bewährten Methodik für ein Onlinemonitoring und eine darauf aufbauende Onlinesteuerung von Interesse sein. Für die im Rahmen des AP-Nr. 6 in DROVA vorgesehene Betrachtung wird hier der Typ TSF exemplarisch weiter betrachtet.

Bei einer TSF werden nach verkehrstechnischen Kriterien in ausgewählten Betriebszeiten regulär für den fließenden Kfz-Verkehr gesperrte Seitenstreifen im Zuge von BAB für den Verkehr freigegeben in Abwägung der Zweckmäßigkeit zur Stauvermeidung in Verbindung mit einer (temporären) Kapazitätserhöhung auch in Kombination mit einer SBA [MARZ, 2018].

Nach dem Stand der Technik [MARZ, 2018] kommt im Bereich der Bundesfernstraßen i.d.R. eine lokale Verkehrsdatenerfassung [TLS, 2012] zum Einsatz.

Der Betrieb des Seitenstreifens bei einer TSF in ausgewählten Zeitfenstern bei einer temporär über den regulären Kapazitäten liegenden Verkehrsnachfrage trägt zur wirtschaftlich optimalen Nutzung der Infrastruktur der Bundesfernstraßen unter Vermeidung von dauerhaftem Ausbau um eine zusätzliche Spur bei [HLSV, 2010].

Systematisch bedingt steht in den Freigabezeiten der Seitenstreifen im Bereich der TSF bei gleichzeitig hoher Verkehrsbelastung dann nicht zur Verfügung, da dort der Verkehr zur Kapazitätssteigerung temporär geführt wird. Für diese Betriebszeit wird das Einsatzpotential der in DROVA entwickelten Methodik hier zunächst für den Aspekt des Onlinemonitorings als hoch eingeschätzt.

Dabei sind ausgehend von den Erfahrungen bei den Demonstratoren ZRA und AID in DROVA sowie auf Grundlage der vorstehend definierten, technisch orientierten Szenarien folgende Aspekte wesentlich:

- Kommunikation bzw. Datenübertragung (es fallen große Mengen Daten an)
- Stromversorgung bzw. Akkukapazität (bei Einsatz von Drohnen)
- Neue Entwicklungen in der Drohnentechnik (oder alternative Plattformen).

Zur Kommunikation bzw. Datenübertragung ist zu erläutern, dass je nach Einsatzzweck mit der Wahl der Auflösung und Framerate der Videokamera in Verbindung mit der realisierbaren Perspektive eine wesentliche Randbedingung zum anfallenden Datenstrom abgesteckt wird. Diese wird zunächst davon beeinflusst, welche Flughöhe und welcher Beobachtungsbereich zweckmäßig ist. Mit den vorliegenden Erfahrungen der Demonstratoren in DROVA wird hier im Weiteren von UHD (4096x2160 Pixel) ausgegangen, mit denen gemäß dem vorstehenden technischen Szenario bis zu 400 m Erfassungsbereich aus den 100 m Beobachtungshöhe machbar eingeschätzt werden.

Bei der gewählten Auflösung stehen nach dem Stand der Technik gemäß Bewertung des Konsortialpartners isac entsprechende GPU zur Verfügung, die bei Umsetzung in Servertechnik ein Onlinemonitoring technisch (nach entsprechender Erweiterung der Software) ermöglichen würden. Damit erscheint aber eine in Drohnen integrierte Auswertetechnik aus Gründen der Nutzlast ineffizient.

Da jedoch ohnehin die bei den Demonstratoren in DROVA durch den plangemäßen Einsatz einer Standarddrohne entstehenden Unterbrechungen durch Akkuwechsel für ein effektives Onlinemonitoring vermieden werden sollten, empfiehlt sich alleine aus diesem Grund der Einsatz von Drohnen mit Energieversorgung mittels Schleppkabel (Energieversorgung dauerhaft ohne Akkuwechsel vom Boden aus). Dann kann auch eine kabelbasierte Datenübertragung von der Drohne zu einer Bodenstation mit entsprechenden Optionen für eine Servertechnik für die Onlineanalyse umgesetzt werden.

Ausgehend von den Erfahrungen insbesondere bei den Demonstratoren ZRA spielen die Abdeckungen der Sicht auf den Fahrraum sowie insgesamt die Beschränkung des Analyse- raums auf max. 400 m noch eine wesentliche Restriktion für den Einsatzzweck Onlinemonitoring einer TSF während der Betriebszeiten. Dies kann jedoch durch den Einsatz eines Schwarmflugs, d.h. dem Einsatz mehrerer im Verbund betriebener Drohnen gelöst werden.

Als notwendige Grundlage für die Fahrraumanalyse ist als Referenz eine hinreichend genaue Abbildung des Fahrraums erforderlich, wie diese z.B. auch im Zusammenhang mit automatischem Fahren als Referenz für fahrzeuggesteuerte Systeme in Betracht gezogen wird. Es wird deswegen hier von einer Verfügbarkeit der Fahrraumdefinition im Bereich von TSF im Folgenden ausgegangen.

Im Gegensatz zu den vorstehend dargestellten, technisch lösbaren Aspekten schränken die gesetzlichen Randbedingungen die Umsetzung des Fallbeispiels bisher noch ein. So wurden die für die Demonstratoren durchgeführten Flüge alle bei Tageslicht unter voller Verantwortung des Steuerers des unbemannten Fluggeräts (Drohne) durchgeführt, dabei besteht absolute Ausweichpflicht vor allen anderen Fluggeräten. So wäre ein Onlinemonitoring des Betriebs einer TSF (noch) nicht möglich. Es könnte zwar durch entsprechendes Tagging der eingesetzten Drohnen mit automatisiertem Ausweichen implementiert werden, aber auch die Hürde für die Umsetzung eines automatisierten Fluges im Schwarm in Verbindung mit einem vom Tageslicht unabhängigen Flug ist hoch und in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit kritisch zu bewerten. Weiterhin folgen aus den typabhängigen, verbindlich vom Hersteller vorgeschriebenen Einsatzbedingungen der Drohne, wie insbesondere Wind und Niederschlag, weitere technisch nur eingeschränkt lösbare Probleme.

In Bezug auf die fachliche Zweckmäßigkeit wird eingeschätzt, dass eine kontinuierliche Beobachtung des Verkehrsraums und eine systematische Analyse der Einzelfahrzeugtrajektorien mit der Ableitung von lokalen oder momentanen (streckenbezogenen) Verkehrsdaten sowie eine Fahrraumanalyse zum tatsächlichen Verhalten der Verkehrsteilnehmer ein erhebliches Verbesserungspotential gegenüber den im [MARZ, 2018] dokumentierten Datengrundlagen und -verfahren für die Situationsanalyse bietet.

Teilfazit zur inhaltlichen Machbarkeit eines Onlinemonitoring (GETRASOL): Als Szenario zur inhaltlichen Bewertung der Machbarkeit wurde das Onlinemonitoring des „Betrieb einer TSF“ ausgewählt. Unter der Einschränkung der gültigen gesetzlichen Randbedingungen wird dieses auf Grundlage der Erfahrungen aus den Demonstratoren von DROVA als definitiv machbar und auch zweckmäßig angesehen.

4.6.2 AP 6.2 – Machbarkeitsstudie – Machbarkeit Onlinesteuerung

Auf Grundlage der im AP-Nr. 6.1 positiv abgeschlossenen Bewertung eines Onlinemonitorings (unter den dort beschriebenen Randbedingungen) wird in AP-Nr. 6.2 hier nun die Machbarkeit einer darauf aufbauenden Onlinesteuerung betrachtet.

Dabei ist die Verknüpfung mit kollektiven Anlagen zur Verkehrsbeeinflussung im Sinne des [MARZ, 2018] die eine Option, eine andere wäre die Einbeziehung in Verfahren zum automatischen Fahren d.h. die Bereitstellung von steuerungsrelevanten Informationen an Einzelfahrzeuge.

Zu den Anforderungen an die zeitliche Performance einer solchen Onlinesteuerung kann festgehalten werden, dass die dazu erforderlichen Algorithmen keinen entscheidenden Einfluss auf die Laufzeit haben. Die Algorithmen nach [MARZ, 2018] sind zwar mehr oder minder komplex zu programmieren, brauchen aber keine vergleichbar großen Datenmengen verarbeiten wie das von der Umsetzbarkeit her positiv bewertete Onlinemonitoring.

Die Datengrundlage eines Onlinemonitorings ist dabei weitaus vielseitiger als die bisherige meist lokale Erfassung nach TLS. Entsprechend erweiterbar wären auch Verfahren eine Online-Steuerung, die nicht mehr den aus lokalen Verkehrsdaten abgeleiteten Verkehrsfluss als Eingangsgröße verwendet, sondern beispielsweise auch momentane (streckenbezogene) Verkehrsdaten oder Aspekte der Verkehrssicherheit hinzuziehen könnte.

Eine bedeutende Möglichkeit, die eine Onlinesteuerung bieten würde, ist zudem die Verwendung eines immer weiter lernenden Systems. Bis heute werden die meisten Schaltungen nur nach Berechnungen oder Erfahrungswerten parametrisiert. Aber auch herkömmliche lernende Systeme werden meistens mit vorab erfassten Daten trainiert und anschließend in Betrieb genommen. Eine konstante räumlich-zeitlich vorgenommene Analyse der Verkehrssituation (Stärke, Fluss, Sicherheit) würde einem System ermöglichen, sich an neue Situationen effizient anzupassen und immer weiter zu lernen und sich zu verbessern. Hier könnte eine vollkommen neue und weitaus bessere Steuerung des Verkehrs entstehen, als sie bis heute bekannt ist.

Folgende Anwendungsfälle mit Zuordnung von Problemstellung und potentieller Steuerungs-lösung auf Grundlage der Umsetzung eines Onlinemonitorings mit den in DROVA an Demonstratoren erprobten Methodik erscheinen von zentralem Interesse:

Nr.	Problemstellung	Potentielle Steuerungslösung
1	Steuerung einer ZRA	<p>Bisher Steuerung meist auf Basis lokaler TLS-Daten der Hauptfahrbahn in Relation zur Rampe.</p> <p>> Optimierungspotential: Verwendung von momentanen Verkehrsdaten und Analyse der Interaktion der Fahrzeuge mit verbesserter Nutzung der Kapazitäten durch bedarfsgerechtere Ermittlung der Umlaufzeiten der LSA an der Rampe auch für komplexere Einfahrtsituationen (mehrstreifige oder kombinierte Zufahrten).</p>
2	Steuerung einer FSZ	<p>Bisher Steuerung auf Grundlage von lokalen TLS-Daten an ausgewählten (Teil-) Querschnitten.</p> <p>> Optimierungspotential: Analyse der Fahrzeuginteraktion bzgl. der tatsächlichen Nutzung der Verflechtungsbereiche und Einsatz von selbstlernenden Verfahren zur optimalen Nutzung der vorhandenen Infrastruktur unter Einsatz von ortsfesten Signalanlagen</p>
3	Steuerung einer SBA	<p>Bisher Steuerung meist auf Basis lokaler TLS-Daten der Hauptfahrbahn ggfs. mit abschnittsweise bilanzierenden Verfahren.</p> <p>> Optimierungspotential: Verwendung von momentanen Verkehrsdaten und Analyse der Interaktion der Fahrzeuge mit verbesserter Nutzung der Kapazitäten durch bedarfsgerechtere Ermittlung der Maßnahmen zur kollektiven Verkehrsbeeinflussung inkl. Engstellenerkennung mit Warnhinweisen im Zulauf.</p>
4	Steuerung einer TSF (ggfs. kombiniert mit SBA)	<p>Siehe SBA, zusätzlich variable Berücksichtigung der Verkehrserfassung und -analyse nach der tatsächlichen Betriebssituation.</p>
5	Steuerung einer NBA	<p>Bisher Steuerung meist auf Basis lokaler TLS-Daten im ergänzt um einzelne streckenbezogene Verfahren wie z.B. Reisezeitermittlung mittels Bluetooth-Wiedererkennung an relevanten Stützstellen des beeinflussten Netzes.</p> <p>> Optimierungspotential: Verwendung der in den wesentlichen Knotenpunkten aus Trajektorien abgeleiteten Matrizen von Herkunft und Ziel (OD-Matrizen) mit Bewertung von deren Veränderung im Kontext von Maßnahmen (Umlenkungsanteile).</p>

6	Steuerung von Verkehren bei Großveranstaltungen	Das Einsatzspektrum einer Analyse und Steuerung der Verkehrsströme mit den Methoden von DROVA erscheint insbesondere in Bezug auf die ausgeglichene Nutzung der Kapazitäten bei An- und Abreise sowie der effizienten Nutzung der Parkflächen chancenreich.
7	Katastrophenmanagement in Bezug auf die Steuerung von Verkehrsströmen	Im Falle von Katastrophen ändert sich schlagartig die Nutzbarkeit einer zuvor gegebenen verkehrlichen Infrastruktur, hier mit dem Fokus auf ein Straßennetz. Für ein räumlich begrenztes Netz erscheint sowohl zur kurzfristigen Erfassung der noch nutzbaren Teile des Netzes als auch zur Steuerung von Verkehren der Einsatz- und Rettungsdienste sowie der Evakuierung ein großes Einsatzpotential gegeben.
8	Zusatzinformationen für das Automatischen Fahren	Beim Automatischen Fahren auf dem Weg hin zum Autonomen Fahren sind in Abhängigkeit der konkreten Ausprägung sowohl Informationen aus dem Umfeld des Einzelfahrzeugs vom umgebenden Kollektiv als auch von übergeordneten Quellen bereitgestellte Informationen erfolgsentscheidend. Dabei können die mittels Methoden aus DROVA gewonnenen Informationen bisher vorhandene Daten über das gesamte Fahrzeugkollektiv ergänzend, ohne das diese alle einheitlich spezifisch ausgestattet sein müssten.

4.7 AP 7 – Sicherstellung Datenschutz

In dem vorliegenden Forschungsprojekt werden Bild- und Filmaufnahmen im öffentlichen Verkehrsraum angefertigt ohne dass die Verkehrsteilnehmer explizit auf die Datenerhebung hingewiesen werden. Aus diesem Grund werden mit Beginn der Drohnenflüge die datenschutzrechtlichen Belange bei der Durchführung der Untersuchungen dargestellt und mit Vertretern des Datenschutzes diskutiert. Die Ausarbeitungen werden dabei sowohl im Rahmen eines Forschungsprojektes eruiert, als auch hinsichtlich der Randbedingungen für eine spätere wirtschaftliche Verwertung ergründet.

Als Anwendungsfälle werden durch die in der Projektlaufzeit definierte Vorgehensweise in der Aufnahme der Demonstratoren zwei Verfahren unterschieden, die auch in der Betrachtung des Datenschutzes separat erörtert werden müssen:

1. Aufnahme von Einzelfotos aus einer Höhe von 50 m bis 100 m
2. Videoaufnahmen aus einer Höhe von 100 m

Das Video- und Bildmaterial wird durch den Unterauftragnehmer Sky-High-Views GbR generiert und vor Übergabe an GETRASOL einer Qualitätskontrolle unterzogen. Zur weiteren Verarbeitung werden die Rohdaten an das isac über externe Festplatten weitergeben. Darüber hinaus werden im Projektverlauf Datensätze veröffentlicht.

Auf Basis dieser Vorgehensweise sind zunächst die Anforderungen an die Videoaufzeichnungen deklariert worden. Diese sind ausführlich in Anhang 7.1.1 mit entsprechenden Praxisbeispielen aus den Erstaufnahmen aufgeführt. In der Vorbetrachtung werden zunächst die rechtlichen Randbedingungen in Bezug auf den Datenschutz zusammengefasst. Darauf aufbauend werden die gesetzlichen Randbedingungen bzw. Vorkerhungen in den Kontext des Projektes DROVA eingeordnet. Dabei werden die datenschutzrechtlichen Belange auf den Ebenen der Datenerhebung, -weiterverarbeitung und Veröffentlichung von Rohdaten und Ergebnissen bewertet. Sowohl die Anwendungsfälle innerhalb der Forschung als auch im Rahmen einer Dienstleistung werden in der Ausarbeitung evaluiert. Die Diskussion wird zudem anhand von derzeitigen Fallbeispielen (Videoeinsatz im Verkehrsbereich) angereichert.

Mit der vorgestellten Vorbetrachtung sind am 12.09.2018 potenzielle Teilnehmer zu einer Diskussionsrunde über den Datenschutz im Projekt nach Aachen eingeladen worden. Der finale Teilnehmerkreis umfasste Mitarbeiter von Straßen.NRW; darunter auch der Datenschutzbeauftragte des Unternehmens. Neben den Projektpartnern war zudem nach Recherche und Kontaktaufnahme durch seitens dem isac ein externer Berater durch das Büro GETRASOL beauftragt worden, um einen richtlinienkonformen Nachweis für die Einhaltung des Datenschutzes zu erbringen. Der Berater war ebenfalls in der Diskussionsrunde am Montag, den 08.10.2018 anwesend und stellte einen ausführlichen Gastbeitrag vor, mit Hilfe die Vorbetrachtungen praxisnah diskutiert werden konnten. Die finalen Ergebnisse sind in einem Protokoll niedergeschrieben, welches bereits allen Teilnehmer ausgehändigt worden ist (siehe Anhang **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Das Arbeitspaket 7 ist somit im Jahr 2018 abgeschlossen worden. Als wesentliches Ergebnis ist hierbei festzuhalten, dass durch eine Drohnenüberwachung mit den angegebenen Randbedingungen keine datenschutzrelevanten d.h. personenbezogenen oder personen-beziehbare Daten erhoben werden.

4.8 AP 8 – Projektkoordination

Im Rahmen der Projektkoordination werden seit Beginn des Projektes monatlich Jour fixes zwischen dem isac, GETRASOL und Sky-High-View in Aachen abhalten. Die Treffen dienen dem regelmäßigen Austausch der verschiedenen Arbeitsergebnisse und der Übergabe von Daten.

Der Ausfall von Drohnenflügen von Anfang September bis Mitte Oktober 2018 war durch eine rechtliche Unsicherheit verursacht worden, die durch ein zwischenzeitlich überholtes, nicht öffentliches Schreiben des BMVI an die obersten Luftfahrtbehörden entstanden war. Dieses war dem Partner isac im Zusammenhang mit durch Sky-High-Views GbR für Zwecke des isac durchzuführenden Flügen zugegangen. Die notwendige Klärung der (unveränderten) Zulässigkeit der Flüge durch den dafür zuständigen Nachunternehmer Sky-High-Views GbR unter Einbeziehung von Straßen.NRW als assoziiertem Projektpartner bei der Landesluftfahrt-behörde von NRW hatte die 1,5 Monate beansprucht.

5 Zusammenfassung und Ausblick

5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Das Kernziel des Forschungsvorhabens DROVA war die Erfassung von Einzelfahrzeugen in einem verkehrstechnisch zusammenhängenden Bereich als 3D-Fahrlinien zur systematischen Analyse der räumlich-zeitlichen Interaktion von Einzelfahrzeugen im Längs- und Querverkehr formuliert worden. Zur optimalen Nutzung der vorhandenen Infrastruktur in Form der baulichen und telematischen Anlagen in Verbindung mit der Gewährleistung von Sicherheit und Leichtigkeit des motorisierten Individualverkehrs waren die Interaktionen von Einzelfahrzeugen als von zentralem Interesse identifiziert worden. Diese konnten nach Entwicklung und prototypenhafter Umsetzung der notwendigen Methoden und Prozessketten zur detaillierten Analyse des IST-Verhaltens der Verkehrsteilnehmer herangezogen werden.

Die erhobenen Daten stellten zunächst zusätzliche Big Data dar, die mittels Abgleichs mit bestehenden Daten zu Qualitätssicherungszwecken und neu entwickelten Aufbereitungsprozessen zu Smart Data in Form von in der Telematik üblichen Standardrohdaten sowie aggregierten Kenngrößen der Verkehrsqualität und -sicherheit überführt wurden. Somit wurden entsprechend des vom BMVI für die mFUND-Projekte formulierten Ziels auf Basis bestehender und künftiger Daten neue Anwendungs- und Vernetzungsmöglichkeiten systematisch identifiziert und datenbasierte Anwendungen entwickelt.

Der wissenschaftlich-technische Ansatz des Forschungsprojektes hat auf der Kombination drohnenbasierter Videoaufnahmen mit Bildauswertungstechniken, die eine kosteneffiziente und hochgenaue Datenerfassung ohne Eingriff in den Verkehrsraum erlauben, aufgesetzt. Als Nebenergebnis wurde mangels öffentlich verfügbarer Modellierung des Fahrraums in Form der Markierung im Bereich der Demonstratoren ein ergänzendes Verfahren implementiert. Dabei wird ausgehend von per Drohnenflug aufgenommenen Fotos in Verbindung mit der aufgezeichneten Flugparametrie effizient zunächst eine Punktwolke in Weltkoordinaten erzeugt, eine Geländemodell daraus abgeleitet und die Markierung abschließend als Vektorzüge extrahiert.

Darauf basierend wurden als zentrales Ergebnis Einzelfahrzeugtrajektorien aus den Videoaufnahmen per Drohne abgeleitet und in Mikroverkehrsdaten (Einzelfahrzeugdaten) überführt, welche eine detaillierte Analyse des Verkehrs und somit neue Optimierungsmöglichkeiten unterschiedlicher Verkehrsbeeinflussungs- und sonstiger Infrastrukturmaßnahmen ermöglicht haben. Dies wurde anhand von Demonstratoren zu Arbeitsstellen längerer Dauer und dem punktuell wirksamen telematischen Anlagentyp Zuflussregelungsanlagen im Autobahnumfeld praktisch erprobt. Wesentliche Erfahrungen insbesondere auch für die Umsetzung in praxisnahe Dienstleistungen wurden im Zusammenhang mit den Einsatz- und Sichtfeldrestriktionen für Drohnenflug gewonnen, welche in der weiteren Optimierung der Verfahren berücksichtigt werden können.

5.2 Erfolgsaussichten für die weitere Verwendung der Projektergebnisse

Zur Bewertung der wirtschaftlichen Erfolgsaussichten ist festzuhalten, dass die mit DROVA entwickelte Analyse-Methodik sich wesentlich von konventioneller Verkehrsdatenerhebung (querschnittsbezogen oder in Ausnahmefällen streckenbezogen) unterscheidet. Dies beginnt mit der nichtinvasiven Methode (kein Eingriff in den Verkehrsraum beim Einrichten/Durchführen, keine Aufbauten im Bereich der Fahrbahn, keine Absicherungen) und setzt sich bei den vielfältigen Auswertemöglichkeiten fort. Dabei können mehrere Querschnitte mit einer Aufnahme ausgewertet werden, konventionelle Radargeräte in Seitenaufstellung dahingegen wäre nur jeweils für eine Fahrbahn geeignet. Dies führt zu erheblichen Kostenersparnissen bei den Erhebungsmaßnahmen.

Mit den Arbeitsergebnissen von DROVA lassen sich als Innovation sowohl lokale (querschnittsbezogene) als auch momentane (flächenbezogene) Kenngrößen des Verkehrsablaufs ermitteln, neben neuartigen Analyseformen in denen diese klassischen beiden Sichtweisen miteinander verschmelzen (3D-Vektoranalyse). Es werden für die wirtschaftliche Verwertung die Bereiche Basistechnologie zur Ermittlung von 3D-Fahrlinien, die Analyse von Bedarf sowie Optimierung von Zuflussregelungsanlagen und die Kontrolle/Optimierung von Verkehrsführungen in Arbeitsstellen im Bereich der Bundesautobahnen gesehen. Als zentraler Adressat von Dienstleistungen ist hier Die Autobahn GmbH des Bundes zu sehen, wo in den 2-3 Jahren nach Projektabschluss eine konkrete Anwendung der entwickelten Verfahren umsetzbar erscheint und angestrebt wird.

Mit der Verfügbarkeit der Erzeugung von Einzelfahrzeugtrajektorien aus Videoaufnahmen aus großer Höhe wurde eine Basistechnologie geschaffen, die sowohl hinsichtlich der Trägerplattformen und Kamertechnologie, als auch hinsichtlich der Anwendungszwecke in der Verkehrstechnik als universell einsetzbar einzustufen ist. Bereits ohne konkreten verkehrstechnischen Anwendungsbezug erwächst daraus ein enormes Potential, da mittels der Einzelfahrzeugtrajektorien Drittanwendern aus Wissenschaft, Forschung und Praxis mikroskopische Basisdaten zur Erprobung von eigenständigen, weiteren Veredelungen im Umfang der Demonstratoren bereitgestellt werden konnten. Es ist von einem internationalen Interesse an dieser Innovation auszugehen, wodurch eine hohe wissenschaftlich-technische Verwertbarkeit zu erwarten ist. Der wissenschaftlich-technische Erfolg des Forschungsprojektes wird durch eine umfangreiche Verbreitung und gezielte Nutzung der Ergebnisse durch das Institut für Straßenwesen der RWTH Aachen University sichergestellt.

Ausgehend von der Basistechnologie der Erzeugung von Einzelfahrzeugtrajektorien und den ersten Anwendungen im Bereich der Demonstratoren Zuflussregelungsanlagen und Arbeitsstellen erscheint weiterhin auch mit Projektabschluss im Sinne der Anschlussfähigkeit eine Vielzahl von praxisrelevanten Verwertungen greifbar. So ist z.B. ein hohes Potential bei der Entwurfsplanung von nicht richtlinienkonformen Knotenpunkten oder Unstetigkeitsstellen beim Streckenausbau im Straßennetz erkennbar. Dort könnte der i.d.R. sehr hohe Mitteleinsatz beim Ausbau von Infrastruktur durch weitere nach Abschluss von DROVA zu entwickelnden Methoden gezielt gesteuert werden. Dabei werden auch Vergleiche vorher/nachher im Sinne von Erfolgskontrollen möglich, die wiederum die Ableitung von

Leitfäden oder eine Fortschreibung von Entwurfsrichtlinien ermöglichen. Es ist auch die Abdeckung weiterer Anwendungsbereiche möglich, wie im AP-Nr. 6 ausgearbeitet im Rahmen der Machbarkeitsanalyse eines Onlinemonitorings bzw. einer Onlinesteuerung.

6 Quellenverzeichnis

- [**AIXtraffic, 2011**] Parameteroptimierung mittels Vorher- und Nachheruntersuchung der 15 Zuflussregelungsanlagen auf den BAB A40, A52, A59 und A4, AIXtraffic GbR, Aachen im Auftrag von Straßen.NRW, Autobahnniederlassung Krefeld (unveröffentlicht)
- [**Archer, 2004**] Archer, J.: „Methods for the Assessment and Prediction of Traffic Safety at Urban Intersections and their Application in Micro-Simulation Modelling“, Academic Thesis, Royal Institute of Technology, Department of Infrastructure, Stockholm, 2004
- [**ASR, 2014**] Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA): Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A5.2, Anforderungen an Arbeitsplätze und Verkehrswege auf Baustellen im Grenzbereich zum Straßenverkehr, Straßenbaustellen, Entwurf, Stand 02.04.2014
- [**ASR 5.2, 2018**] Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA): Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR 5.2), Anforderungen an Arbeitsplätze und Verkehrswege auf Baustellen im Grenzbereich zum Straßenverkehr, Straßenbaustellen, Ausgabe Dezember 2018
- [**BAKABA ET AL., 2012**] Bakaba, J., E.; Enke, M.; Heine, A.; Lippold, C.; Maier, R.; Ortlepp, J.; Schulz, R.: Untersuchung der Verkehrssicherheit im Bereich von Baustellen auf Bundesautobahnen, Forschungsbericht VI 04, Gesamtverband der Deutschen Verkehrssicherungswirtschaft e.V., Berlin, 2012
- [**Brake, 2008**] Brake, M.: Teilautomatisierte Interpretation von Straßenverkehrsszenen bei Einsatz von Schwenk-Neige-Kameras, Dissertation, Aachener Mitteilungen Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau, Aachen, 2012
- [**Cooper, 1976**] Cooper, F., Ferguson, N.: Traffic studies at t-junctions – a conflict simulation model. Traffic Eng. Control 17, 306–309.
- [**Drohnenverordnung, 2017**] Verordnung zur Regelung des Betriebs von unbemannten Fluggeräten, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2017, Teil I Nr. 17, Bonn, 2017
- [**Emde/ Hamester, 1983**] Becker, H.; Emde, W.; Hamester, H.; Schmuck, A.: Verkehrsablauf und Unfallgeschehen an Autobahnbaustellen, Information Verkehrsplanung und Strassenwesen, Heft 14, Hochschule der Bundeswehr München, München-Neubiberg, 1983
- [**Fischer/ Brannolte 2006**] Fischer L.; Brannolte, U.: Sicherheitsbewertung von Maßnahmen zur Trennung des Gegenverkehrs in Arbeitsstellen, Bericht Heft V 142, Verkehrstechnik, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 2006
- [**Fischer, 2009**] Fischer, L.-H.: Wirtschaftlichkeitsuntersuchung von Behelfsverkehrsführungen an Autobahnarbeitsstellen unter Berücksichtigung der Querschnittsabmessungen
- [**Geistefeldt, 2007**] Geistefeldt, J.: Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit auf Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen, Dissertation, Bochum, 2007

- [Greibe, 2007]** Greibe, P.: Braking distance, friction and behaviour. Findings, analyses and recommendations based on braking trials, Trafitec, Lyngby, Denmark, 2017
- [Guido et al., 2011]** G. Guido, V. Astarita, V. Giofré, and A. Vitale, "Safety performance measures: a comparison between microsimulation and observational data," Proceedings of the 14th Meeting of the Euro Working Group on Transportation, EWGT, 26th Mini-EURO Conf. - Intelligent Decis. Making in Transp. and Logist., MEC, 1st Eur. Sci. Conf. on Air Transp. - RH, September 2011
- [Fazekas et al., 2017]** Fazekas, A.; Hennecke F.; Kalló, E.; Oeser, M.: A Novel Surrogate Safety Indicator Based on Constant Initial Acceleration and Reaction Time Assumption, Journal of Advanced Transportation, Institute of Highway Engineering, RWTH Aachen University, Aachen, 2017
- [FGSV 318, 2008]** Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe „Verkehrsmanagement“: Hinweise für Zuflussregelungsanlagen H ZRA, Stand November 2008
- [FGSV 386/1, 2019]** Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe „Verkehrsmanagement“: Hinweise für das Qualitätsmanagement in der Verkehrsbeeinflussung, Stand Februar 2019
- [Hayward, 1972]** Hayward: „Near-miss determination through use of a scale of danger,” Highway Research Record, no. 384, pp. 24–34. Online verfügbar unter <https://onlinepubs.trb.org/Online-pubs/hrr/1972/384/384-004.pdf>.
- [Hydén, 1987]** Hydén, Christer: The development of a method for traffic safety evaluation. The Swedish traffic conflicts technique. @Lund, Univ., Diss. : 1987. Lund: Inst. of Technology Dep. of Traffic Planning and Engineering (Bulletin. Department of Traffic Planning and Engineering. Lund Institute of Technology, 70)
- [Kalló, 2017]** Kalló, E.: Videogestützte Ableitung von makroskopischen und mikroskopischen Verkehrskenngrößen, Masterarbeit, Institut für Straßenwesen, RWTH Aachen, Aachen, 2017
- [Kemper et al., 2014]** Kemper, D.; Sümmermann, A.; Oeser, M.; Baier, M.; Klemps Kohnen, A.: Sicherheitsbewertung von Arbeitsstellen mit Gegenverkehrstrennung, Forschungsbericht FE 82.239/2007, Bundesanstalt für Straßenwesen, 2014
- [Khan et al. 2016]** Muhammad Arsalan Khana*, Wim Ectorsa, Tom Bellemansa, Davy Janssens and Geert Wetsa „UAV-Based Traffic Analysis: A Universal Guiding Framework Based on Literature Survey“, Transportation Research Procedia 22 (2017) 541–550, 19th EURO Working Group on Transportation Meeting, EWGT2016, 5-7 September 2016, Istanbul, Turkey
- [KRUX ET AL., 1995]** Krux, W.; Determann, D.: Sicherheitsbezogene Beurteilung von Autobahnbaustellen, Heft V 28, Verkehrstechnik, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 1995

- [Kuang et al., 2015]** Kuang, Y.; Qu, X, Wenig, J.; Etemad-Shahidi, A.: How Does the Driver's Perception Reaction Time Affect the Performances of Crash Surrogate Measures?; PLOS ONE, Griffith School of Engineering, Griffith University, Gold Coast, Australia
- [Laube, 2001]** Laube, M.: Verkehrsverhalten und Unfallgeschehen im Bereich von Autobahnbaustellen, Conference paper STRC 2001, IVT ETH Zürich, Zürich, 2001
- [Lee, 2015]** Lee, D.; Yeo, H.: A study on the rear-end collision warning system by considering different perception-reaction time using multi-layer perceptron neural network. In: 2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). June 28, 2015 - July 1, 2015, COEX, Seoul, Korea. 2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). Seoul, South Korea, 6/28/2015 - 7/1/2015. Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE Intelligent Transportation Systems Society; IEEE Intelligent Vehicles Symposium; IV. Piscataway, NJ: IEEE, S. 24–30.
- [Linder, 2016]** Linder, W.: Digital Photogrammetry, A Practical Course, Fourth Edition, Springer-Verlag, Düsseldorf, 2016
- [Mahmud et al., 2017]** Mahmud, S. SohelM.; Ferreira, Luis; Hoque, Md. Shamsul; Tavassoli, Ahmad (2017): Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: A review of recent developments and research needs. In: *IATSS Research* 41 (4), S. 153–163. DOI: 10.1016/j.i-atssr.2017.02.001.
- [Morita et al., 2006]** Morita, K.; Sekine, M.; Okada, T.: Factors with the Greatest Influence on Drivers's Judgment of When to Apply Brakes, National Traffic Safety and Environment Laboratory, SICE-ICASE International Joint Conference, Bexco, Busan, Korea, 2006
- [Nissan, 2010]** Nissan, A.: Evaluation of Variable speed Limits: Empirical Evidence and Simulation Analysis of Stockholm's Motorway Control System, Academic Thesis, Royal Institute of Technology, Department of Infrastructure, Stockholm, 2010
- [Piao & McDonald, 2008]** Piao, J.; McDonald, M.: Safety Impact of Variable Speed Limits – A Simulation Study, 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, p.833-837, Beijing, China
- [Pöppel-Decker et al., 2003]** Pöppel-Decker, M.; Schepers, A.; Koßman, I.: Grundlagen streckenbezogener Unfallanalysen auf Bundesautobahnen, Heft M 153, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 2003
- [RSA, 1995]** Schönborn; Schulte: RSA Handbuch, Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen, Band 1, RSA mit Kommentar, 2. Auflage, Köln, 1999
- [Schmulders, 1990]** Schmulders, S.: Control of Freeway Traffic Flow by Variable Speed Signs, Transportation Research Part B, p. 111-132, 1990
- [Schnorbus, 2015]** Schnorbus, A.: Entwicklung eines Modells zur Klassifikation von Bundesautobahnabschnitten anhand des Unfallgeschehens mit der Schwerpunktsetzung auf

die Identifikation von Arbeitsstellen länger Dauer, Bachelorarbeit, Institut für Straßenwesen, RWTH Aachen, Aachen, 2015

[Stierlin, 2012] Stierlin, S, Dietmayer, K.: Scale change and TTC filter for longitudinal vehicle control based on monocular video, 15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems Anchorage, Alaska, USA, 2012

[Straßen.NRW, 2008] Zuflussregelung „zufluss“, Systemhandbuch Verkehrsrechner, Dokumentation Version 3.5.1 vom 22.02.2008 aufgestellt durch Heusch Boesefeldt GmbH im Auftrag des Landesbetriebs Straßenbau NRW, (unveröffentlicht).

[Spahn/ Wirth, 2013] Spahn, V.; Wirth, W.: Zusammenhang zwischen verkehrlichen Einflussgrößen und Unfallhäufigkeiten auf Autobahnen, Straßenverkehrstechnik Heft 7, 2013

[Sümmermann, 2012] Sümmermann, A.: Verkehrssicherheits- und Verkehrsablaufuntersuchungen in Arbeitsstellen längerer Dauer auf Autobahnen in Deutschland. Dissertation, Aachener Mitteilungen Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau, Aachen, 2012

[TLS, 2012] Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen, Ausgabe 2012, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Invalidenstr. 44, 10115 Berlin

[Treiber/ Kesting, 2013] Treiber, M.; Kesting, A.: Traffic Flow Dynamics, Data, Models and Simulation, Springer Verlag, Berlin, 2013

[Vitale et al., 2011] Vitale, A.; Guido, G.P.; Astarita, V.; Festa, D.C.: „Comparing Safety Performance Measures Obtained from Video Capture Data“, Journal of Transportation Engineering, DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000230, 2011

[Volkenhoff, 2014] Volkenhoff, T.: Modellbasierte Ableitung des Einsatzbereiches eines videogestützten Störfall- und Arbeitsstellenmanagements in Arbeitsstellen längerer Dauer auf Bundesautobahnen, Dissertation, Aachener Mitteilungen Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau, Aachen, 2014

[Winner et al., 2013] Winner, H.; Geyer S.; Sefati, M.: Masse für den Sicherheitsgewinn von Fahrerassistenzsystemen, Publikationen FZD, TU Darmstadt, 2013

7 Anhang

7.1 Datenschutz

7.1.1 Vorbetrachtung zum Datenschutz im Kontext von DROVA

Im Zusammenhang mit DROVA ist eine spezifische Betrachtung des Aspekts Datenschutz erforderlich, welche den speziellen Anwendungszweck und die zum Einsatz vorgesehenen Hilfsmittel berücksichtigt. Die Ausarbeitung umfasst Recherchen zu laufenden Forschungs- und Pilotprojekten, die ebenfalls drohnenbasierte Videoaufnahmen verwenden, die Beurteilung der aktuellen Rechtslage und eine vergleichende Betrachtung zu fachspezifischen Diskussionen in Bezug auf bereits angewendete Videosysteme im Bereich der Verkehrsbeobachtung.

Dafür wird im Folgenden zunächst die Ausgangssituation beschrieben, inwieweit, auf welche Weise und in welchem Umfang Bild- und Videomaterial für das erfolgreiche Gelingen des Projektes DROVA generiert und gespeichert werden kann. Es folgt daraufhin eine Gegenüberstellung der technisch notwendigen Erhebungsmethoden mit den rechtlich möglichen Grundsätzen aktueller Gesetzstexte. Diese werden untergliedert in EU-rechtliche Anordnungen, bundesweite Verordnungen in Deutschland, sowie landesspezifische Grundsätze am Beispiel NRW.

Die Ausarbeitung wird in einem weiteren Schritt interessierten und „betroffenen“ Verbänden und Ämtern aus dem Bereich des Straßen- und Verkehrswesen zur Stellungnahme mit anschließender Befragung vorlegt. Aus der Gegenüberstellung von spezifischen Datenschutzbestimmungen, dem Anforderungskatalog einer automatisierten Videoerfassung und den Rückmeldungen aus den Fachkreisen wird eine Stellungnahme des Datenschutzbeauftragten von Straßen.NRW erbeten, die abschließend in den Projektbericht aufgenommen wird.

Ausgangssituation

In der ursprünglichen Projektskizze ist durch die Konsortialpartner isac und GETRASOL im Rahmen der automatischen Detektion von Fahrzeugen ausschließlich die datenschutzrechtliche Bewertung von Videodaten von den Demonstratoren betrachtet worden. Im bisherigen Projektverlauf hat sich jedoch herausgestellt, dass für das Abbilden der Straßeninfrastruktur und temporär vorhandenen Einrichtungen auf der Straße weitere Drohnenflüge mit der Erstellung von Einzelfotos notwendig sind. Die Datenschutzbestimmungen sind daher auf die erweiterte Anwendung ebenfalls anzuwenden. Es ergibt sich folgende grundlegende Unterscheidung:

1. Aufnahme von Einzelfotos in einer Flughöhe von 50 m bis 100 m mit einem Mindestabstand von 10 m zur Fahrbahn **(Phase 1)**
 - Auflösung: 5.472 x 3.078 Pixel (entspricht ca. 16,8 Mega-Pixel)
2. Aufnahme von Videosequenzen mit einer maximalen Länge von 20 Minuten in einer Höhe von 100 m mit einem Mindestabstand von 10 m zur Fahrbahn **(Phase 2)**
 - Auflösung: 4.096 x 2.160 Pixel (entspricht ca. 8,8 Mega-Pixel)

Darüber hinaus erfolgt eine systematische Betrachtung anwenderspezifischer Ausnahmen und Unterschiede, die in der Bewertung in „Forschung“ d.h. die eigentliche Projektlaufzeit von DROVA und „Dienstleistung“ d.h. die Zeit nach Abschluss des Projektes mit der Verwertung der Ergebnisse differenziert wird. Dabei ist weiterhin zu unterscheiden, ob das Datenmaterial nur zur Generierung von weiteren Informationen (z.B. Geländemodell, Fahrzeugtrajektorien) erfasst werden muss und danach generell eine Datenlöschung möglich ist oder Einzelaufnahmen veröffentlicht werden sollen.

Rechtliche Grundlagen zu Datenschutz bei DROVA incl. Demonstratoren in NRW

Die Erhebungsmethode und die dadurch generierten Bild- und Videodaten sind den gesetzlichen Grundlagen gegenüberzustellen. Hinsichtlich der rechtlichen Grundlagen ist die Datenschutz-Grundverordnung von zentraler Bedeutung [DS-GVO, 2016].

Die Datenschutz-Grundverordnung der EU dient dem „... Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten ...“ (siehe Präambel zur [DS-GVO, 2016]). Es gilt für DROVA deswegen insbesondere zu prüfen, ob solche Daten erhoben werden, bevor eine vertiefende Betrachtung notwendig ist.

In Artikel 4 Begriffsbestimmungen unter 1. wird in der [DS-GVO, 2016] definiert:

„ „personenbezogene Daten“ [sind] alle Informationen, die sich auf eine identifizierte oder identifizierbare natürliche Person (im Folgenden „betroffene Person“) beziehen; als identifizierbar wird eine natürliche Person angesehen, die direkt oder indirekt, insbesondere mittels Zuordnung zu einer Kennung wie einem Namen, zu einer Kennnummer, zu Standortdaten, zu einer Online-Kennung oder zu einem oder mehreren besonderen Merkmalen, die Ausdruck der physischen, physiologischen, genetischen, psychischen, wirtschaftlichen, kulturellen oder sozialen Identität dieser natürlichen Person sind, identifiziert werden kann;“

Gemäß der vorstehend wiedergegebenen Begriffbestimmung sind als auch durch Informationen wie z.B. Kfz-Kennzeichen im Sinne einer Kennnummer als „personenbezogene Daten“ im Sinne der indirekten Zuordnung zu behandeln, wobei dann auch weitere Quellen wie ein Fahrtenbuch bei der Identifikation zur Verfügung stehen müssten.

Zur Umsetzung der Datenschutz-Grundverordnung ist im Weiteren für Deutschland das neue Bundesdatenschutzgesetz zu berücksichtigen [BDSG, 2017]. Auch im Bundesdatenschutzgesetz wird im § 1 „Anwendungsbereich des Gesetzes“ dieses auf die Verarbeitung personenbezogener Daten bezogen. Auch hier gilt es also für DROVA zunächst zu prüfen, ob und wenn ja in welcher Form solche Daten erhoben werden.

Alle Standorte von Demonstratoren zu DROVA liegen in Nordrhein-Westfalen, dort ist ergänzend das Datenschutzgesetz NRW zu beachten [DSG NRW, 2018]. Der Anwendungsbereich ist im Datenschutzgesetz NRW identisch zum BDSG formuliert, so dass sich hieraus keine weiteren Erkenntnisse ergeben und keine länderspezifischen Festlegungen zu beachten sind.

Bispielhafter Vergleich von ausgewählten Aufnahmen und der Rechtslage

Im Rahmen der bisherigen Projektlaufzeit DROVA von knapp einem Jahr wurde für den Zweck der automatisierten Analyse die auf Seite 1 vorgestellte Methodik ausgearbeitet, die sowohl Einzelfotos als auch Videosequenzen erfordert. An dieser Stelle werden ausgewählte Beispiele aus beiden Phasen vorgestellt und in den zuvor dargelegten, gesetzlichen Kontext eingeordnet.

Die in **Phase 1** aufzunehmenden Fotos werden ausschließlich temporär für die Erzeugung des digitalen Geländemodells benötigt. Dabei werden durch die sukzessive Auswertung von Fotos mit einem Überlappungsbereich von 60 - 80 % die statischen Eigenschaften des Straßenraums inklusive Nebenflächen und temporären Elementen erfasst und über die photogrammetrischen Grundsätze, sowie über der Mustererkennung von Bildern in eine Punktwolke überführt und als Vektormodell einer zentralen Datenhaltung zugeführt. Aus systematischen Gründen werden dabei bereits in diesem Verarbeitungsschritt bewegte Objekte eliminiert, da sich diese in einer Folge von Bildern nicht reidentifizieren lassen. Eine digitale Abbildung von sich bewegenden Fahrzeugen und Personen findet demnach nicht statt.

Betrachtet man die **Abbildung 2**, die in Phase 1 mit einer minimal eingesetzten Flughöhe von 50 m und einem seitlichen Abstand vom Fahrbahnrand von 10 m aufgenommen worden ist, ist bei allen drei beispielhaft im Bild befindlichen Lkw zwar die Spedition erkennbar (am Fahrzeug links unten über die Logos), im Gegensatz zu weiteren Details wie beispielweise den Gesichtszügen der Fahrer. Dies bestätigt sich auch im vergrößerten Ausschnitt in **Abbildung 2**. Somit ist davon auszugehen, dass keine personenbezogenen oder personenbeziehbaren Daten erhoben werden.



Abbildung 2: Perspektivische Bildflug aus ca. 50 m Höhe und Fahrzeugdetails bei nachträglichem Zoom (5.472 x 3.078 Pixel) [Sky-High-Views GbR, 2018]

In Phase 1 wird, wie vorstehend dargestellt, mit der maximal im Projekt DROVA eingesetzten Auflösung von 5.472 x 3.078 Pixel (entspricht ca. 16,8 Mega-Pixel) aus mindestens 50 m Höhe der Datenschutz gewährleistet, da keine personenbezogenen und keine personenbeziehbaren Daten erhoben werden.

Der Datenschutz gilt für die Aufnahmen von Videomaterial in Phase 2 ebenfalls, da bei diesen Aufnahmen ausschließlich mit 4.096 x 2.160 Pixel (entspricht ca. 8,8 Mega-Pixel) und zudem

stets aus 100 m Höhe über Grund gefilmt wird. In **Abbildung 3** ist der Sachverhalt an einem beispielhaften Auszug eines Videos dargestellt.

Daraus kann ebenfalls abgeleitet werden, dass sich auch mit Vergrößerung eines Bildausschnitts die Bewertung relativ zu der aus Phase 1 ausfällt. Wie in **Abbildung 3** ersichtlich, ist das Bild nochmals unschärfer hinsichtlich der Werbebeschriftung auf der Lkw-Planen in Bezug auf die **Abbildung 2** und die zuvor aufgeführten Erläuterungen.

Für die automatisierte Extraktion von 3D-Fahrlinien als abstrahierte Vektorenpolygone aus den Videostreams ist somit die Überführung in anonymisierte Daten in Bezug auf die Aspekte des Datenschutzes bereits nachrangig, da in den Phasen 1 und 2 keinerlei personenbezogene oder personenbeziehbare Daten erhoben werden.



Abbildung 3: Perspektivische Videoflug aus ca. 100 m Höhe (4.096 x 2.160 Pixel) [Sky-High-Views GbR, 2018]

Für die Aufnahme von Arbeitsstellen längerer Dauer (AID) ist zudem eine weitere Betrachtungsweise erforderlich. Neben Fahrzeugen bewegt sich zusätzlich das Arbeitsstellenpersonal auf der Fahrbahn. Das Einzelfoto in **Abbildung 4** zeigt, dass zwar erkenntlich ist, dass sich Personen in dem Baustellenbereich befinden. Das Erkennen von Gesichtszügen oder anderen Merkmalen, die einen Personenbezug zulassen würden ist jedoch nicht möglich. Zudem werden die Videos ausschließlich in den Zulauf- und Überleitungsbereichen aufgenommen. An dieser Stelle ist ein Aufenthalt von Personen nicht zu erwarten.

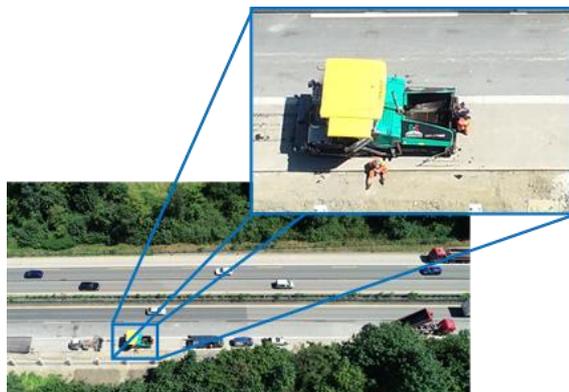


Abbildung 4: Perspektive Einzelfoto aus ca. 100 m Höhe (4.096 x 2.160 Pixel) [Sky-High-Views GbR, 2018]

Unter der Bedingung, dass Video- und Bildmaterial nicht direkt den beteiligten Projektträgern und –überwachern zu überlassen, kann die Aufnahme von AID somit auch als datenschutzrechtlich unbedenklich angesehen werden.

Ergänzende Fallbeispiele zu Videobeobachtungen des Verkehrs

Die vorangegangenen auf DROVA bezogenen Betrachtungen werden nachfolgend durch in der Praxis im Einsatz befindliche Fallbeispiele zur Videobeobachtungen des Verkehrs ergänzt. Dabei handelt es sich um Videosysteme, die derzeit bereits genutzt werden, um die Verkehrssituationen oder einzelne Verkehrsteilnehmer abzubilden bzw. aufzuzeichnen. Dabei ist zu unterscheiden, ob die Kameras von einer öffentlichen Stelle, wie bei der Überwachung von Tunnelanlagen und Freilandstrecken durch die Autobahnbetreiber durchgeführt wird oder Privatpersonen den Verkehr filmen. Für Letzteres wird als Beispiel auf die aktuelle Diskussion in den Medien über die Nutzung von Dashcams eingegangen.

Generell sind für beide Anwender Grundprinzipien bei der Aufnahme und Speicherung von Videodateien zu beachten, die im folgenden nocheinmal zusammenfassend dargestellt werden, bevor auf die einzelnen Fallbeispiele aus dem Alltag im Detail eingegangen wird.

Unabhängig von welcher Institution oder Person die Videoüberwachung eingesetzt wird, muss die Erfordernis und die Verhältnismäßigkeit nachgewiesen werden [LDI NRW, 2018]. Die Erfordernis im Fall einer Erhebung von Daten mit Personenbezug ist durch eine Rechtsgrundlage zu ergründen (§4 Abs. 1 DSGVO NRW). Die Verhältnismäßigkeit ist gegeben, wenn der Nutzungszweck der Videoüberwachung gegeben ist und kein anderweitiges System zur Zielerreichung angewendet werden kann, das im geringeren Maße in die Persönlichkeitsrechte der gefilmten Person(en) eingreift.

Es folgen vier beispielhafte Anwendungen aus dem Bereich der Videoüberwachung, die die derzeitige Rechtslage bei der Benutzung von Videosystemen im Straßenverkehr verdeutlichen sollen und somit die theoretischen Überlegungen zu Kameraaufnahmen mit Drohnen ergänzen.

1. Darstellung von Videomaterial aus Kameras von BAB als Webcams auf den Internetseiten der Autobahnbetreiber ohne Speichermöglichkeit
2. Aufnahme und Speicherung von Videosequenzen aus der Beobachtung von Streckenabschnitten in Tunneln
3. Erhebung und Speicherung von personenbezogenen Daten zur Erhebung von Mauteinnahmen auf BAB
4. Aufnahme des Verkehrs durch Dashcams in Privatfahrzeugen und Verwendung des Bildmaterials als Beweismittel vor Gericht

Beispiel 1: Webcams im öffentlicher Raum (“Freiland BAB”)

Wurden in der Vergangenheit Videosysteme von Betreibern ausschließlich dafür eingesetzt, das Operatoren in Verkehrsleitzentralen das Verkehrsgeschehen in Echtzeit beobachten können, werden die Kameraaufnahmen nun auch als sogenannte Webcams im Internet für die Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Allein die ASFINAG hält ein Angebot von über 1.000

Webcams auf dem österreichischen Autobahnen- und Schnellstraßennetz als zusätzliche Verkehrsinformation bereit [ASFINAG, 2018].

Eine Rechtsgrundlage wird für dieses Anwendungsbeispiel nicht aufgeführt, da es sich um Übersichtsaufnahmen nach [PLaNT, 2016] handelt. Aufgrund der geringen Auflösung und der fehlenden Möglichkeit von Schwenk- und Zoomfunktionen ist es nicht möglich direkt oder indirekt personenbezogene Daten zu erheben. Die Aufnahmen werden nur live zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus ist in den entsprechenden Nutzungsbedingungen das Speichern und die Übermittlung der Aufnahmen an Dritte ausdrücklich untersagt [ASFINAG, 2017]. Auch eine Identifizierung von Personen und Fahrzeugen, sowie das Beobachten von nicht verkehrs- oder straßenbezogenen Objekten durch das Personal der Leitzentrale wird nach [PLaNT, 2016] als Nutzungseinschränkung definiert.

Beispiel 2: Tunnelüberwachung

In der Tunnelüberwachung werden Kamerasysteme zur Beobachtung, Einsatzleitung und Protokollierung von Vorfällen 24 Stunden lang an 7 Tagen in der Woche durch die Operatoren wahrgenommen. Die Videotechnik soll dabei verwendet werden um Störfälle schnell zu erkennen und das Krisenmanagement zu koordinieren. Es ist damit Bestandteil eines definierten Sicherheitskonzeptes von Tunnelanlagen. Die Notwendigkeit wird in der Richtlinie für die Anlagen von Tunnel [RABT, 2006] beschrieben. Die Videoüberwachung hat in Abhängigkeit der Länge des Tunnels, der Lkw-Fahrleistung und dem Vorhandensein von unterirdischen Zu- und Ausfahrten zu erfolgen.

Die Ausstattung sieht vor, dass starre Kameras über und neben der Fahrbahn installiert werden. An den Portalen sind die Kameras vorzugsweise schwenk- und zoombar auszuführen. Auch die Notausgänge und Notrufsäulen sind mit Kameras zu überwachen. Das Speichern des Videomaterials darf allerdings nur anlassbezogen durch den Operator oder automatisch bei Betätigung von Alarmmeldungen und Störfällen ausgelöst werden. Am Beispiel des Elbtunnels als Teil der BAB 20 findet eine Aufzeichnung mit Ringspeicher von 24 Stunden und eine dauerhafte Aufzeichnung im Störfall statt [Drucksache 18/3657, 2017]. Als rechtliche Grundlage wird die [RABT, 2006] aufgeführt, die Videomaterial zu Analyse-zwecken fordert. Die Identifizierung einzelner Fahrzeuge und Kfz-Kennzeichen wird in der Erkennung von Gefahrgutschildern begründet [Drucksache 18/3657, 2017]. In der Beurteilung der Videosysteme hinsichtlich des Landesdatenschutzbeauftragten wird aufgeführt, dass öffentliche Stellen öffentlich zugängliche Bereiche mit Kameras überwachen dürfen, da es zur Erfüllung der Aufgaben (Sicherheit im Tunnel nach [RABT, 2006]) erforderlich ist. In dem Fall überwiegen die Sicherheitsinteressen der Tunnelbetreiber den schutzbedürftigen Belangen der Betroffenen.

Als Sonderform kommen sogenannte CCTV-Anlagen (Closed Circuit Television) zum Einsatz, die die Verkehrslage mittels Kameras zur automatischen Störfallerkennung heranziehen. Auf die Videoüberwachung sind die Verkehrsteilnehmer nach [DSG NRW, 2018] hinzuweisen.

Beispiel 3 : Mauterhebung durch Kamerasysteme

Für die Mauterhebung werden Kamerasysteme eingesetzt, die personenbezogene Daten aufnehmen und über einen längeren Zeitraum speichern. Als erforderliche Rechtsgrundlage wird dafür das Gesetz zur Infrastrukturabgabe [InfrAG, 2015] angewendet. An diesem Beispiel soll erläutert werden, wie das Erheben von personenbezogenen Daten (z.B. automatische Kennzeichenerfassung) im Gesetzestext deklariert werden muss.

Nach § 11 des Infrastrukturgesetzes werden Anwender, Nutzungszweck, Datenarten und –umfang, sowie die Verwendung der personenbezogenen Daten eindeutig beschrieben. Demnach dürfen ausschließlich zum Zweck der Überwachung der Abgabepflicht stichprobenartig Bilder des Kraftfahrzeugs ohne Erfassung der Fahrzeuginsassen aufgenommen und gespeichert werden. Bei einer Vor-Ort-Kontrolle dürfen zusätzlich der Name und die Anschrift des Fahrers, sowie die Kennzeichen der Kfz erfasst werden. Weiter ist im Gesetzestext festgelegt, dass die Daten ausschließlich zur Kontrolle der Einhaltung der Vorschriften der Infrastrukturabgabe verarbeitet und gespeichert werden dürfen. Eine unmittelbare Zweckbindung ist damit gegeben. Zur Überwachung des Gesetzes und der damit verbundenen Datenerhebung mit Personenbezug müssen seitens des Bundesamtes für Güterverkehr entsprechende Personen ausdrücklich befugt werden [InfrAG, 2015]. Nach § 13 des InfrAG sind die Daten zudem unverzüglich zu löschen, wenn die Zweckbindung (Daten werden zur Kontrolle der Infrastrukturabgabe nicht mehr benötigt) entfällt. Eine Erstellung von Statistiken erfüllt eine andere Zielvorstellung und darf daher nur durch anonymisierte Daten erfolgen.

Beispiel 4: Dashcams

In den Medien ist derzeit die Verwendung von sogenannten Dashcams präsent. Dabei handelt es sich um kleine Kameras, die an der Windschutzscheibe oder der Heckscheibe im Innenraum des Fahrzeugs angebracht werden können und das Verkehrsgeschehen über einen längeren Zeitraum aufnehmen. Dadurch stünde einerseits das Videomaterial im Fall eines Unfalls als Beweismittel zur Verfügung. Andererseits werden dadurch personenbezogene Daten erhoben ohne eine entsprechende Rechtsgrundlage vorweisen oder die Einwilligung jeder gefilmten Person nachweisen zu können. Die verschiedenen Gerichtsurteile in der Vergangenheit spiegeln die schwierige Rechtslage in diesem Fallbeispiel wieder. Dabei ist das Interesse der Unfallaufklärung mit dem Datenschutz abzuwägen.

Mit dem Urteil des Bundesgerichtshofes [BGH, 2018] ist eine wegweisende Entscheidung getroffen worden. Demnach ist das permanente Filmen des Verkehrsgeschehens untersagt, da es gegen den Schutz der Persönlichkeitsrechte verstößt. Die generelle Verwendung der Dashcams wird aber nicht verboten. Das Filmen hat demnach anlassbezogen zu erfolgen und ist damit als Beweismittel in Zivil- und Strafprozessen zulässig, wenn dadurch schwere Verstöße oder ein drohender Unfall nachgewiesen werden kann ohne eine dauerhafte Verkehrsüberwachung vorzunehmen. In Folge dessen muss die technische Ausgestaltung der Dashcams so erfolgen, dass die Kamera maximal 15 Sekunden vor und nach einem „auslösendem Ereignis“ aufzeichnet und das Material speichert. Die Aufnahmen ohne auslösendes Ereignis müssen konsequent überschrieben werden (Urteil, Az. 3 O 1200/15) [Traunstein, 2016].

Schlussfolgerungen für DROVA

Auf Grundlage der für die Anwendung von Fotografien und Videoaufnahmen bei DROVA festgelegten Randbedingungen zu Beobachtungsdistanz und verwendeter Auflösung der Aufnahmen ist die Schlussfolgerung zu ziehen, dass die Anforderungen des Datenschutzes eingehalten werden. Dies wird damit begründet, dass in keinem der Verfahrensschritte personenbezogene Daten erhoben werden.

Damit ist auch keine verfahrensbezogene, weitergehende Betrachtung des Umgangs mit personenbezogenen Daten notwendig.

In Analogie dazu ist das Beispiel 1 aus den praktischen Anwendungsfeldern von Videobeobachtungen im Verkehr in Form des Einsatzes von Web-Cams zu sehen, auch dort werden weder direkt noch indirekt personenbezogene Daten erhoben.

Somit ergeben sich auch für die Projektphase „Forschung“ und „Dienstleistung“ wie eingangs eingeführt keine Unterschiede hinsichtlich der Einhaltung des Datenschutzes.

Quellen:

[ASFINAG, 2018] Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungsgesellschaft (ASFINAG): ASFINAG Webcams, Beliebteste Verkehrsinformationen, abgerufen am 11.06.2018 unter <https://www.asfinag.at/verkehr/webcams/>

[ASFINAG, 2017] Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungsgesellschaft (ASFINAG): Allgemeine Nutzungsbedingungen zur Nutzung der Webcam-Informationen der ASFINAG, abgerufen am 11.06.2018 unter Downloads auf <https://www.asfinag.at/verkehr/webcams>

[BGH, 2018] Bundesgerichtshof (BGH): Verwertbarkeit von Dashcam-Aufzeichnungen als Beweismittel im Unfallhaftpflichtprozess, Urteil vom 15.05.2018 - VI ZR 233/17 des Zivilsenats, Karlsruhe, 2018

[BDSG, 2003] Bundesdatenschutzgesetz (BDSG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. Januar 2003, Ausfertigungsdatum 20.12.1990

[BDSG, 2017] Gesetz zur Anpassung des Datenschutzrechts an die Verordnung (EU) 2016/679 und zur Umsetzung der Richtlinie (EU) 2016/680 (Datenschutz-Anpassungs- und -Umsetzungsgesetz EU – DSAnpUG-EU) vom 30. Juni 2017

[Drucksache 18/3657, 2017] Schleswig-Holsteinischer Landtag: Anfrage des Abgeordneten Dr. Patrick Breyer (PIRATEN) und Antwort der Landesregierung – Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Technologie: Videoüberwachung und automatische Ereigniserkennung in Tunneln II, 2017

[DS-GVO, 2016] VERORDNUNG (EU) 2016/679 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 27. April 2016 zum Schutz natürlicher Personen bei der

Verarbeitung personenbezogener Daten, zum freien Datenverkehr und zur Aufhebung der Richtlinie 95/46/EG (Datenschutz-Grundverordnung)

- [LDI NRW, 2018]** Landesbeauftragter für Datenschutz und Informationsfreiheit Nordrhein Westfalen (LDI NRW): Sehen und gesehen werden, Videoüberwachung durch Private in NRW, Orientierungshilfe mit Fallbeispielen, abgerufen am 04.06.2018 unter https://www.lds.nrw.de/mainmenu_Service/submenu_Newsarchiv/index.php
- [PLaNT, 2016]** Technisches Planungshandbuch der ASFINAG: Videosysteme und videobasierte Detektionssysteme, Datensicherheitserklärung, Wien, 2016
- [DSG NRW, 2018]** Datenschutzgesetz Nordrhein-Westfalen (DSG NRW) vom 17. Mai 2018 (Fn 1), (Artikel 1 des Gesetzes vom 17. Mai 2018 (GV. NRW. S. 244))
- [InfrAG, 2015]** Gesetz über die Erhebung einer zeitbezogenen Infrastrukturabgabe für die Benutzung von Bundesfernstraßen (Infrastrukturabgabengesetz - InfrAG), Berlin, 2015
- [RABT, 2006]** Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe „Verkehrsführung und Verkehrssicherheit“ Köln, 2006
- [Sky-High-Views, 2016]** Thomas Gerlach, Sky-High-Views GbR, Moderne Verkehrsanalyse durch Einsatz von Drohnen. Bremen: Deutscher Straßen- und Verkehrskongress, 2016
- [Sky-High-Views, 2018]** Philipp Gerlach, Sky-High-Views GbR, Bildflug als Grundlage der Methodik zur Erzeugung eines digitalen Geländemodells sowie zur Entwicklung einer automatisierten Ermittlung von 3D-Fahrlinien in DROVA, 2018
- [Traunstein, 2016]** Landesgericht Traunstein: Dashcam-Aufzeichnungen - Beweissicherungsinteresse bei Verkehrsunfall, Endurteil vom 01.07.2016 Az. 3 O 1200/15, Traunstein, 2016

7.2 Datensatzbeschreibungen

7.2.1 Datensatz Punktwolke AID Haan-Ost

Als erster Datensatz ist die Punktwolke einer Arbeitsstelle längerer Dauer (AID) im Rahmen des BMVI Data Runs unter den folgenden Angaben im Frühjahr 2019 veröffentlicht worden:

Zitationsvorschlag für Schlüsseltext:

Schnorbus, A.; Gerlach, T.; Oeser, M. (2019):

Georeferenzierte Punktwolke einer Arbeitsstelle längerer Dauer auf der BAB 46 in Deutschland

URL: <http://doi.org/10.18154/RWTH-2019-01954>

Georeferenzierte Punktwolke einer Arbeitsstelle längerer Dauer auf der Bundesautobahn 46 in Deutschland

mFund-Forschungsprojekt DROVA
(English version below)

Datenerhebung im Kontext des Forschungsprojektes

In dem Forschungsprojekt DROVA wird ein Verfahren zur automatisierten, einzelfahrzeugbasierten Analyse des Verkehrsablaufs entwickelt. Diese Entwicklung wird anhand der Demonstratoren ZRA an Anschlussstellen und Arbeitsstellen längerer Dauer (AID) im Bereich der Bundesautobahnen erprobt.

Zur Umsetzung der Methodik ist zunächst die Erstellung von digitalen Geländemodellen erforderlich, welche die Infrastruktur in Form des Fahrraums mit Einteilung der Fahrstreifen bzw. des Fahrraums abbilden. Diese werden auf Basis photogrammetrischer Verfahren aus den mittels Drohne erfassten Einzelfotos abgeleitet und für die weitere Analyse über eine Punktwolke abgebildet. Die Punktwolke soll später als Beschreibung des Fahrraums dienen. Diesbezüglich sind hinsichtlich einer möglichen Weiterverwendung Verfahren zu entwickeln, durch die die Punktwolke als 3D-Modell aufbereitet und (einzelne) Objekte visualisiert werden können. Als Programm zur Punktwolkenerzeugung ist AgiSoft Metashape verwendet worden.

Beschreibung des vorliegenden Datensatzes

Durch die Metainformationen der Einzelfotos werden diese mittels Mustererkennung verschnitten und über eine Punktwolke abgebildet. Der Datensatz enthält somit eine Vielzahl von Punkten, wobei jedem Punkt folgende Informationen zuzuordnen sind:

Beispielhafter Auszug (eine Zeile der Textdatei):

364367.100861 5675841.311626 228.495161 31 31 29 0.621483 -0.753545 -0.214311

Parameter	Beispielwert	Beschreibung
Längengrad/ Longitude/ Ost/ E	364367.100861	Geographische Länge zur Beschreibung eine der beiden Koordinaten eines Ortes auf der Erdoberfläche; Position östlich oder westlich des Nullmeridians

Breitengrad/ Latitude/ Nord/ N	5675841.311626	Die geographische Breite ist die im Winkelmaß angegebene nördliche oder südliche Entfernung eines Punktes der Erdoberfläche vom Äquator.
Höhe [m]	228.495161	Höhe über dem Meeresspiegel
R (RGB)	31	Farbwert im RGB-Farbraum durch die additive Mischung der drei Grundfarben Rot (R), Grün (G) und Blau (B)
G (RGB)	31	
B (RGB)	29	
Normalenvektor	0.621483	Einheitsnormalenvektor für den Punkt in Bezug auf die Fläche für die Schattierung bei der dreidimensionalen Darstellung
	-0.753545	
	-0.214311	

Für die Punktwolke liegt die Georeferenzierung als UTM-Abbildung (WGS 84) in der n^{ten} Zone vor. (EPSG-Code 25832).

- Abbildung ohne führende Zonenangabe im Rechtswert
- Ellipsoid GRS80
- Datum ETRS89
- Zone 32: Mittelmeridiane 9 und 15 Grad

Georeferenced point cloud of a temporary traffic management on the Federal Highway 46 in Germany

mFund-research project DROVA

Data gathering in the context of the research project

In the research project DROVA a procedure for the automated, single-vehicle-based analysis of traffic-flow is being developed. This development is being tested via ramp metering demonstration units in junctions and construction sites of longer duration in the highway area.

To implement the method the creation of a digital topography model, which displays the infrastructure in the form of the driving area with a division of lanes is required. These are derived on the basis of a photogrammetric process from single photos captured by unmanned aerial vehicle (UAV) and are displayed for further analysis through a point cloud. The point cloud is to be used later as a description of the driving space. To this effect, regarding a possible reuse, procedures are to be developed through which the point cloud is prepared as a 3D-model and (singular) objects can be visualised. The AgiSoft Metashape program was used to generate the point cloud.

Description of the present record

Through the meta information of the single photos these are cut by means of pattern identification and depicted via a point cloud. In this way the record contains a multitude of points whereby every point is to be assigned the following information:

Exemplary extract (one line of the text document):

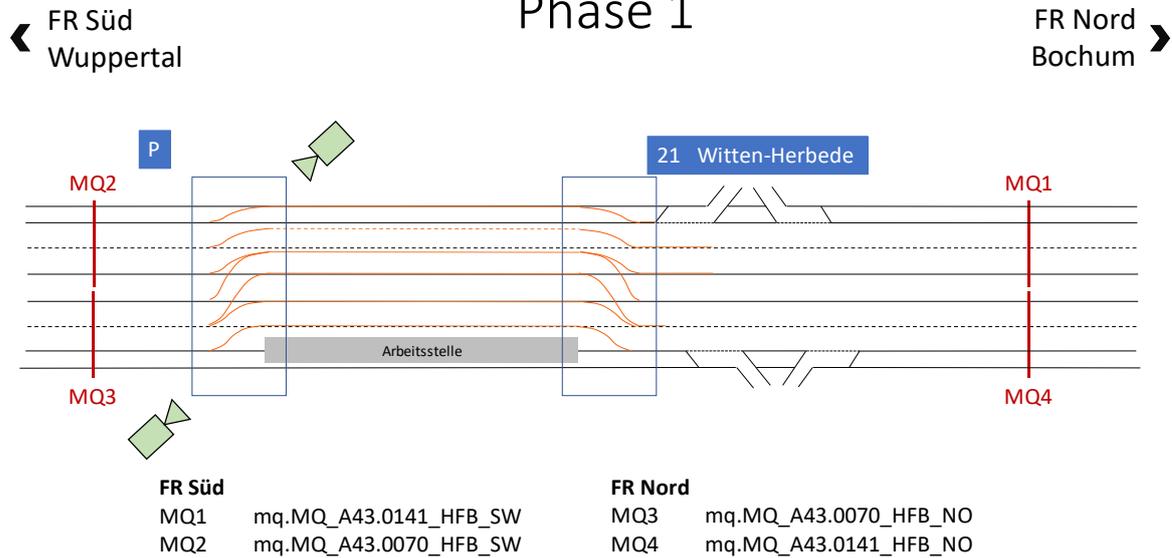
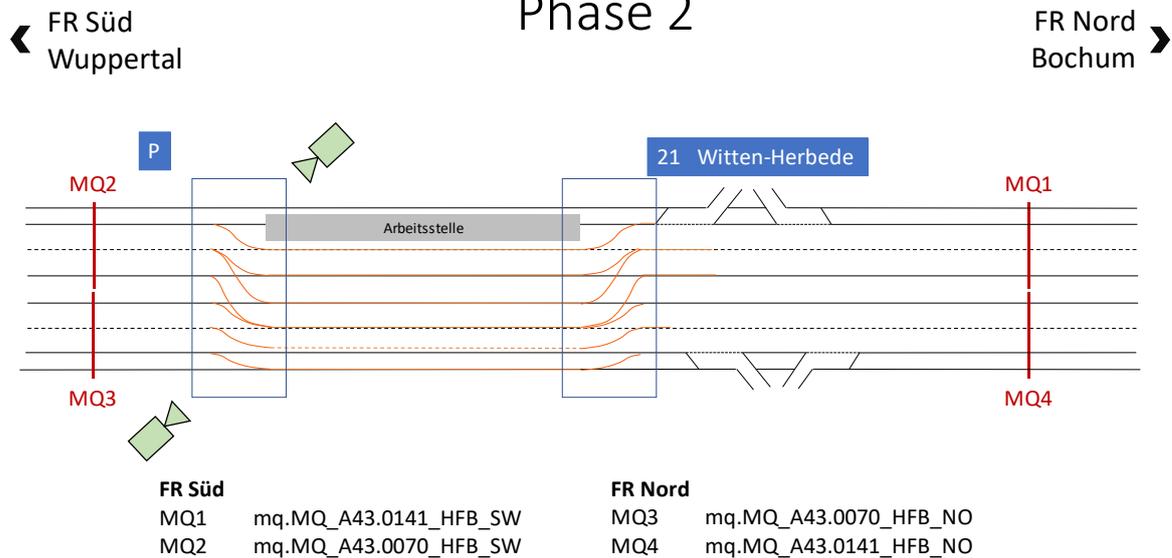
364367.100861 5675841.311626 228.495161 31 31 29 0.621483 -0.753545 -0.214311

Longitude/ East/ E	364367.100861	Longitude describes one of both coordinates of a location on the surface of the earth; position east or west of the prime meridian
Latitude/ North/ N	5675841.311626	The latitude is the given distance of a point on the earth surface north or south of the equator
Height [m]	228.495161	Height above sea level
R (RGB)	31	Colour value in the RGB colour space through the additive mix of the three base colours Red (R), Green (G) und Blue (B)
G (RGB)	31	
B (RGB)	29	
Normal	0.621483	Unit normal for the point in reference to the area for the shadowing in the three dimensional representation
	-0.753545	
	-0.214311	

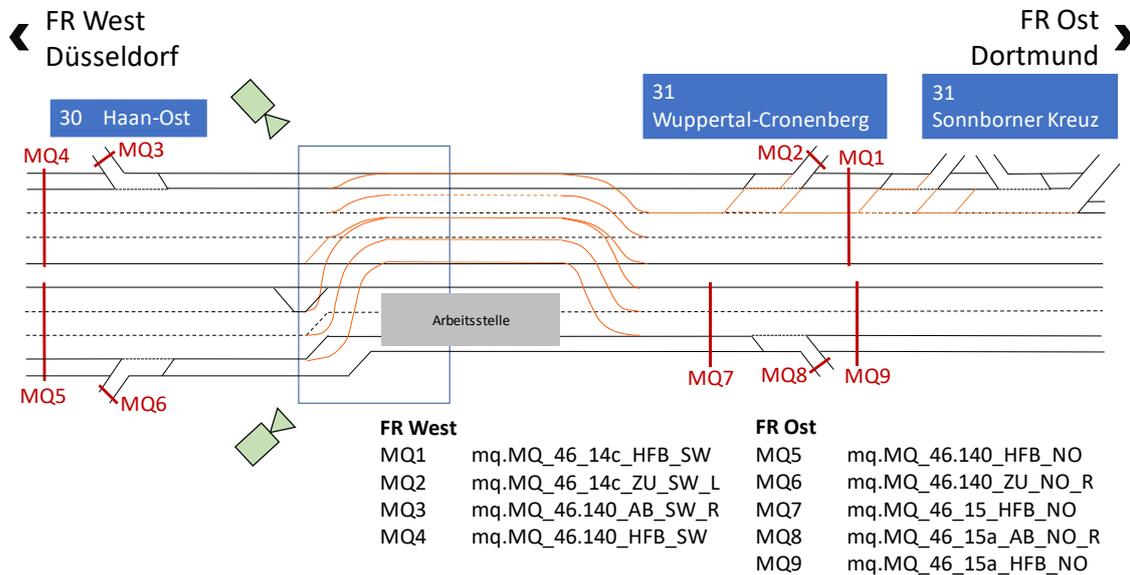
The georeferencing of the point cloud is available in UTM map (WGS 84) in the n-th zone (EPSG code 25832):

- Illustration without leading zone indication in the Easting
- Ellipsoid GRS80
- Datetime ETRS89
- Zone 32: Central meridians 9 and 15 degrees

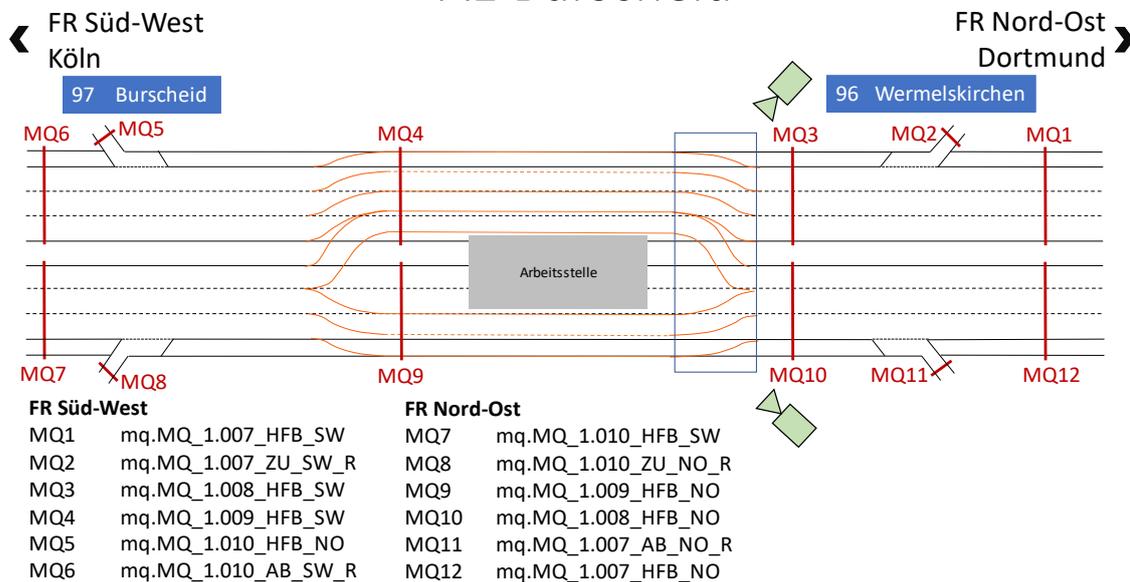
7.3 Lageplanskizzen der Demonstratoren AID

A43 Witten
Phase 1A43 Witten
Phase 2

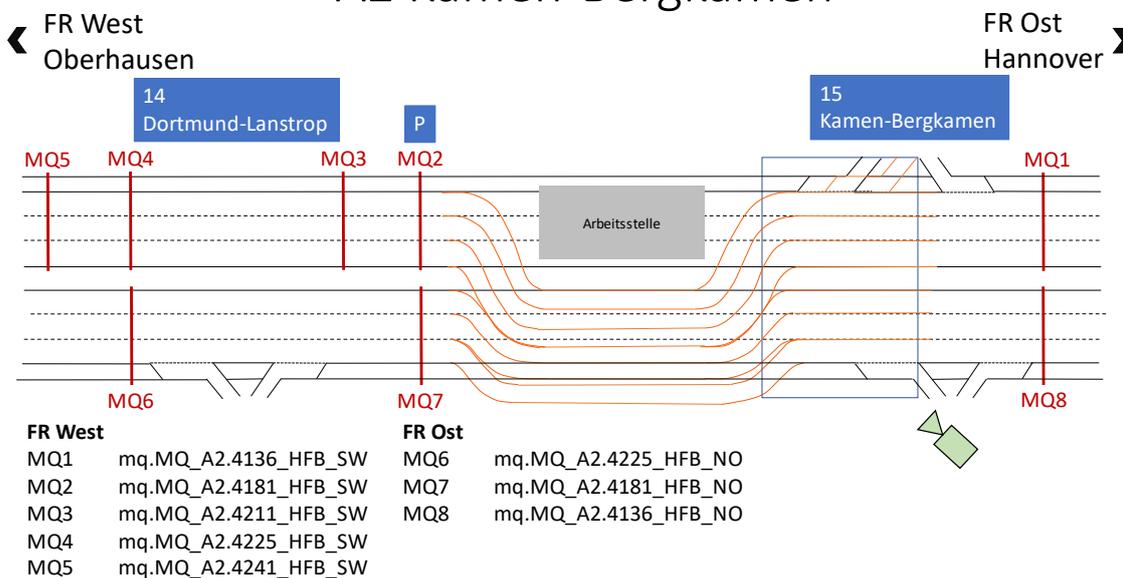
A46 Haan-Ost



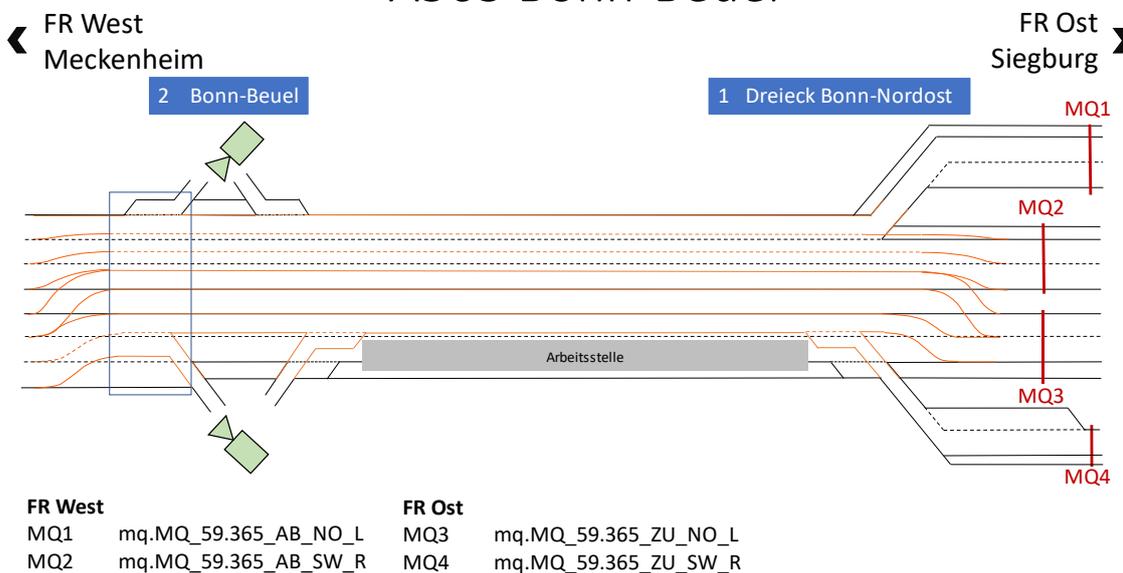
A1 Burscheid



A2 Kamen-Bergkamen



A565 Bonn-Beuel



8 Weitere Anlagen

- **Datenmanagementplan für das Projekt DROVA**
- **Analyseergebnisse ZRA**
- **Analyseergebnisse AID**

Datenmanagementplan

für das Projekt

DROVA

Entwicklung einer drohnenbasierten Verkehrsanalyse zur Optimierung der Nutzung bestehender Infrastruktur von BAB mit Evaluierung zur Eignung für ein Online-Verkehrsmonitoring

Letzte Bearbeitung: 31.03.2021

RWTH Aachen University

GETRASOL, IIn. Dipl.-Ing. Thomas Gerlach

Version	Bearbeiter	Kommentar
1.0	as	Aufsetzung Dokument
1.1	as	Fusion mit Ausarbeitung GETRASOL
1.2	as	Überarbeitung Datenbasis und Tabellen Metainformationen
1.3	TG	Revision und Ergänzung GETRASOL
1.4	as	Überarbeitung isac an Datenbankschema
2.1	TG	Endrevision GETRASOL
2.2	TG	Ergänzung Metadaten Flight-Records/EXIF (Rohdaten)
2.3	as	Vektordaten Infrastruktur und Beschreibung „microTraffic“
2.4	TG	Fortschreibung incl. Zuordnung Fahrzeugtypen gemäß Definition isac zur TLS 2012, Überarbeitung/Kommentierung Bezeichnung Markierungen für die Demonstratoren ZRA/AID
2.5	TG	Ergänzung für 3. Sachstandsbericht
2.6	TG	Überarbeitung für Schlussbericht/Veröffentlichung
2.7	EK	Überarbeitung für Schlussbericht/Veröffentlichung

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	III
1 Vorwort	1
2 Basisinformationen und Forschungsrahmenbedingungen	2
2.1 Basisinformationen zum Projekt DROVA	2
2.2 Datenbasis im Projekt DROVA	3
2.2.1 Ingestplan	3
2.2.2 Datenbestand	4
2.2.3 Datengenese	8
3 Datenmanagement während des Forschungsprozesses	12
3.1 Zugrundeliegender Workflow	12
3.2 Zuständigkeiten unter den Projektpartnern	12
3.2.1 Sky-High-View GbR	12
3.2.2 GETRASOL	14
3.2.3 isac	14
3.2.4 Regelung der Datenübernahmen inkl. QM	14
4 Beschreibung der zur Verfügung stehenden Datensätze	15
4.1 Digitales Abbild und deren Metainformationen	15
4.1.1 Punktwolken als Beschreibung der Infrastruktur	15
4.1.2 Einzelfahrzeugdaten als Abbild des Verkehrs	17
4.2 Datenumfang nach Demonstratoren	19
4.2.1 Demonstratoren ZRA	19
4.2.2 Demonstratoren AID	19
5 Analyse und Auswertung der Daten	21
5.1 Einsatz Software	21
5.2 Eigenentwicklung	22
5.3 Aufbau der Datenbank	22
Literaturverzeichnis	23

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Elemente eines DMP [forschungsdaten.info, 2019].....	1
Abbildung 2: Auszug Planunterlage AID Haan-Ost.....	6
Abbildung 3: GPS-Tags ausgewählter EXIF-Daten [HARVEY, 2019]	11
Abbildung 4: Skizze zur Typisierung der Markierung bei den Demonstratoren ZRA.....	16
Abbildung 5: Fahrzeugumhüllende LKW.....	17
Abbildung 6: Manuelle Detektion im Video	17
Abbildung 7: Plot Einzelfahrzeugtrajektorien Testdatensatz Dormagen.....	18
Abbildung 8: isacDB	22

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Metainformationen AID NWSIB	5
Tabelle 2: Metainformationen ROSY	7
Tabelle 3: Metainformationen Punktwolke	9
Tabelle 4: Erstellung Einzelfotos zur Generierung der Punktwolke	19

1 Vorwort

Nach [forschungsdaten.info, 2019] strukturiert ein Datenmanagementplan (DMP) den Umgang mit Forschungsdaten eines wissenschaftlichen Projekts. Er beschreibt, wie während der Laufzeit und nach Projektende mit verwendeten Daten verfahren wird. Ein DMP kann in Anlehnung an WissGrid und den Empfehlungen für die Erstellung eines DMP der Universität Bielefeld in die folgenden Elemente und den logischen Ablauf in Abbildung 1 strukturiert werden.

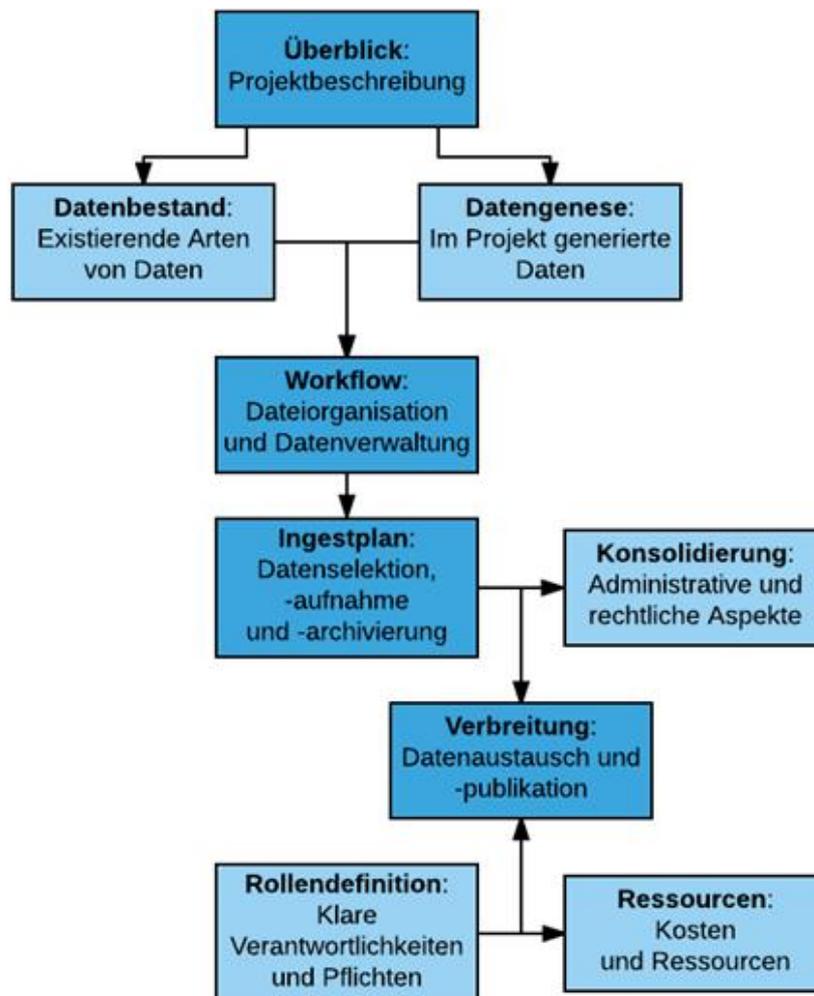


Abbildung 1: Elemente eines DMP [forschungsdaten.info, 2019]

Die nachfolgende Beschreibung des Datenmanagementplans für DROVA orientiert sich am vorstehend bezeichneten Rahmen und wird demnach detailliert die erzeugten und verwendeten Daten darstellen und die Verarbeitungswege in dem Forschungsprojekt aufzeigen. Des Weiteren werden an dieser Stelle alle notwendigen Metainformationen und der Aufbau der zentralen Datenbank erläutert. Abschließend werden die erstellten Veröffentlichungen und deren Publikationskanäle beschrieben.

2 Basisinformationen und Forschungsrahmenbedingungen

An dieser Stelle werden die grundlegenden Informationen zum Forschungsprojekt dargestellt, die im Kontext des Datenmanagements von Bedeutung sind. Explizit ist das Datenmanagement in dem Arbeitspaket 3 aufgeführt. Es enthält die Unterarbeitspakete Vektordaten, Verkehrsdaten und Kartendaten. Darüber hinaus sind weitere AP von den Datenmanagement betroffen.

2.1 Basisinformationen zum Projekt DROVA

In dem Forschungsprojekt DROVA (Drohnenbasierte Verkehrsanalyse) wird im Rahmen der Forschungsinitiative mFUND des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) durch die Konsortialpartner Institut für Straßenwesen der RWTH Aachen (isac) und GETRASOL Ingenieurbüro für das Verkehrswesen Inh. Dipl.-Ing. Thomas Gerlach ein Verfahren zur automatisierten, einzelfahrzeugbasierten Analyse des Verkehrsablaufs entwickelt. Diese Entwicklung wird anhand der Demonstratoren Zuflussregelungsanlagen (ZRA) und Arbeitsstellen längerer Dauer (AID) im Bereich der Bundesautobahnen erprobt. Im Rahmen einer Machbarkeitsuntersuchung werden Onlinemonitoring und Onlinesteuerung abschließend bewertet.

Zur Umsetzung der Methodik ist zunächst die Erstellung von digitalen Geländemodellen erforderlich, welche die Infrastruktur in Form des Fahrraums mit Einteilung der Fahrstreifen bzw. des Fahrraums auch hinsichtlich einer temporärer Gestaltung bei den Arbeitsstellen abbilden. Diese werden mittels photogrammetrischer Verfahren der Bildverschneidung aus per Drohne erfassten Daten abgeleitet und für die weitere Analyse über den Zwischenschritt einer Punktwolke abschließend vektorisiert abgebildet.

Auf der Grundlage des digitalen Geländemodells werden darauf folgend aus Beobachtungsflügen per Drohne mit Videoaufnahmen des Verkehrsablaufs Fahrzeugtrajektorien abgeleitet (3D-Fahrlinien), welche nachfolgend einer Analyse unterzogen werden. Die Analyseergebnisse werden für Präsentationszwecke ergänzend aufbereitet.

Entsprechend dem in den Randbedingungen des Zuwendungsbescheids verankerten Vorgaben werden gemäß dem Ansatz „OpenData“ Daten des Projekts DROVA (z.B. über die mCLOUD des BMVI) veröffentlicht.

Die Abwicklung der Erhebungen erfolgt arbeitsteilig durch die Konsortialpartner isac und GETRASOL sowie dem bei GETRASOL für die Drohneneinsätze eingebundenen Nachunternehmer Sky-High-Views GbR. Weiterhin ist der assoziierte Projektpartner Landesbetrieb Straßenbau NRW (Straßen.NRW) zur Umsetzung und Evaluierung der Methodik bei den Demonstratoren eingebunden.

2.2 Datenbasis im Projekt DROVA

2.2.1 Ingestplan

Die Datenselektion, Datenaufnahme und Datenarchivierung erfolgt arbeitsteilig durch die Konsortialpartner isac und GETRASOL sowie dem Nachunternehmer Sky-High-Views GbR.

Dabei werden zunächst die relevanten Demonstratorenstandorte für ZRA und AID vorab vom jeweils zuständigen Partner ermittelt und die als sinnvoll erachteten Erhebungstage für die Fotoaufnahmen für das Geländemodell und Beobachtungsflüge für Videos des Verkehrsablaufs festgelegt.

Dann wird die Datenaufnahme durchgeführt, wobei es hier aufgrund der Randbedingungen zum Einsatz der Drohne nach den gesetzlichen Vorschriften Abhängigkeiten zu beachten gilt. So muss vor einem Einsatztag der Wetterbericht stets hinsichtlich der Prognose beachtet werden, ob ein Anrücken zum Einsatzort überhaupt zweckmäßig ist. Die finale Entscheidung ob der Flug möglich ist oder nicht, muss der Steuerer der Drohne vorort entscheiden.

Nach Durchführung der Datenaufnahmen von Fotos und Videos wird dann nochmals eine Selektion durch den jeweils verantwortlichen Partner durchgeführt, welche Daten für die weitere Verarbeitung weiterverwendet werden sollen. Dies erfolgt unter Berücksichtigung des QS-Berichtes und je Demonstrator relevanten Kriterien z.B. nach visueller Vorprüfung der Fotos auf Verwendbarkeit in AgiSoft Metashape oder des Videomaterials auf inhaltliche Relevanz des Geschehens für die Analyse.

Entsprechend dem zeitlichen Fortschritt der Tätigkeiten werden zunächst die Fotos und Videos aus den Drohnenflügen mit den zugehörigen Daten zur Flugparametrie (Flight Records) zeitnah zur Erhebung gesichert. Nachfolgend werden entsprechend der abgestimmten oder auch noch in fortlaufender Entwicklung befindlichen Prozesse die erhobenen Daten einer Qualitätssicherung unterzogen. Weiterhin erfolgt eine ergänzende Aufbereitungen z.B. zur Korrektur von Höheninformationen an den für die Erzeugung von Geländemodellen (Punktwolken) benötigten Orthofotos, die dann entsprechend schrittweise nach Bearbeitung archiviert sowie an den zuständigen Projektpartner weitergegeben werden.

Ausgehend von den qualitätsgesicherten Basisdaten in Form von Orthofotos mit korrigierten Angaben zur Flugparametrie werden daraufhin zunächst als Analysebasis aus den Fotos Punktwolken generiert. Diese werden in ein Digitales Oberflächenmodell überführt, in dem darauf aufbauend die dreidimensionale Modellierung des Fahrraums durch die manuelle Digitalisierung der Markierung vorgenommen wird. Die Zwischenschritte wie z.B. die Punktwolken und das Ergebnis in Form der Vektorzüge der Markierungen werden archiviert und die abstrahierte Modellierung des Fahrraums in die zentrale Datenbank importiert.

Aus den erhobenen Videos werden unter Nutzung der korrigierten Angaben zur Flugparametrie daraufhin mit den im Rahmen des Projekts entwickelten Verfahren Einzelfahrzeugtrajektorien erzeugt, welche wiederum die Grundlage für die verkehrstechnischen Analysen darstellen.

2.2.2 Datenbestand

Im Sinne der „existierenden Arten von Daten“ werden im Folgenden alle Datenarten verstanden, die bereits an anderer Stelle erfasst worden sind und im Rahmen des Projekts DROVA verwendet werden. Dies betreffen im Projekt die Bereiche Infrastruktur und Verkehr.

1. Infrastruktur

Für die visuelle Überprüfung der erzeugten Punktwolke aus den Orthofotos werden öffentlich kostenlos zugängliche Digitale Geländemodelle (DGMs) und Digitale Oberflächenmodelle (DOMs) für die entsprechenden Streckenabschnitte bei der Bezirksregierung Köln abgerufen und mittels CloudCompare verglichen.

Digitale Geländemodelle (DGM) beschreiben die natürliche Geländeform der Erdoberfläche durch georeferenzierte Höhenpunkte. Objekte wie z. B. Vegetation und Gebäude werden nicht dargestellt [BezReg Köln, 2019]. Die Bezirksregierung Köln, Geobasis NRW stellt im Rahmen ihres gesetzlichen Auftrags das DGM1 mit einer Gitterweite von einem Meter bereit. Neben dem auf Gitterpunkte reduzierten DGM1 werden von Geobasis NRW auch die unregelmäßig verteilten primären Messpunktwolken mit einer Punktdichte von größtenteils über 4 Punkten pro Quadratmeter bereitgestellt (DGM1L). Seit 2013 wird die Landesfläche mit einer Punktdichte von mindestens vier Punkten pro Quadratmeter erfasst. Die flächendeckende Fertigstellung mit dieser Messpunktdichte ist für 2018 geplant. Informationen über die Verfügbarkeit und Aktualität von DGM-Daten zeigt der WMS-Viewer „DHM-Übersicht“. Die Georeferenzierung ist wie folgt angegeben (Stand 14.02.2019):

- Lage/ Lageangabe ETRS89/ UTM32 (EPSG 25832)
- Höhe/ Höhenangabe: DHHN2016 (EPSG 7837) bei einer Höhengenaugigkeit der Geländepunkte von +/- 2dm
- Dateiformat ASCII

Digitale Oberflächenmodelle (DOM) beschreiben die Höhe und Form der Erdoberfläche inklusive Bauwerke und Vegetation [BezReg Köln, 2019]. Das in Nordrhein-Westfalen erstellte DOM1L besteht aus den originär erfassten First-Pulse-Punktwolken aus dem flugzeuggestützten Laserscanning. Eine Umrechnung in ein regelmäßiges Gitter wie bei den Geländemodellen findet nicht statt. Seit 2013 wird das DOM1L mit einer Punktdichte von mindestens vier Punkten pro Quadratmeter erfasst. Die flächendeckende Fertigstellung mit dieser Messpunktdichte ist für 2018 geplant. Informationen über die Verfügbarkeit und Aktualität von DOM-Daten zeigt der WMS-Viewer „DHM-Übersicht“. Die Punktwolke bezieht sich auf die folgende Georeferenzierung (Stand 14.02.2019):

- Lage/ Lageangabe: ETRS89/ UTM32 (EPSG 25832)
- Höhe/ Höhenangabe: DHHN2016 (EPSG 7837) bei einer Höhengenaugigkeit der Oberflächenpunkte von +/-2 dm
- Dateiformat ASCII

Sowohl für die DGM als auch DOM erfolgt die Bereitstellung der Daten über WMS/ WCS Webdienste.

Für die notwendige Auswahl der Testfelder und die Bestimmung relevanter Parameter werden über NWSIB die aktuellen Meldungen zu AID abgerufen und gespeichert. Zusätzlich werden für die relevanten Testfelder die AID-Pläne als in pdf-Format direkt bei dem assoziierten Partner Straßen.NRW angefordert.

Für den Abruf der Arbeitsstellenmeldungen über das NWSIB-Portal liegen folgende Metainformationen vor:

Tabelle 1: Metainformationen AID NWSIB

Attribut	Beschreibung
Projektnummer (NWBIS)	Laufende Nummer des übergeordneten Projektes vergeben durch den Landesbetrieb Straßen.NRW
Projektbeginn	Startdatum des übergeordneten Projektes
Projektende	Enddatum des übergeordneten Projektes
Baubetr. Phase	Einzelne Phase (= einzelne Verkehrsführung) innerhalb eines Projektes
Bauzeit Beginn (Phase)	Startdatum der einzelnen Baubetriebsphase
Bauzeit Ende (Phase)	Enddatum der einzelnen Baubetriebsphase
Straße	Bezeichnung der Bundesautobahn
von Knoten	Name der Anschlussstelle vor der Arbeitsstelle (in Km-Richtung)
bis Knoten	Name der Anschlussstelle nach der Arbeitsstelle (in Km-Richtung)
von Betriebskm.	Autobahnkilometer am ersten Schild oder dem Anfang der Markierung einer Arbeitsstelle
bis Betriebskm.	Autobahnkilometer am letzten Schild oder dem Ende der Markierung einer Arbeitsstelle
Länge	Länge der Arbeitsstelle
FR1 || FR2 (norm.)	Anzahl der Fahrstreifen nach Fahrtrichtung 1 und Fahrtrichtung 2 ohne Arbeitsstelle (Normalzustand)
FR1 || FR2 (Bau)	Anzahl der Fahrstreifen nach Fahrtrichtung 1 und Fahrtrichtung 2 getrennt in der Arbeitsstelle
Verkehrsführung	Bezeichnung der Verkehrsführung der AID nach RSA, 1995
Ausführende Niederlassung	Zuständige Niederlassung von Straßen.NRW
Autobahnmeisterei	Zuständige Autobahnmeisterei von Straßen.NRW
Vzul	Zulässige Höchstgeschwindigkeit in der Arbeitsstelle
Art / Bezeichnung	Art der Arbeiten in der Baustelle
Bemerkung	Zusätzliche Informationen
Art der Beeinträchtigung im Knoten	Einengung oder Sperrung von Ein- bzw. Ausfahrten
von Netzknotennr.	Nummer des BAB-Knotens vor der Arbeitsstelle (in Km-Richtung)
von Station	Lfd. Nummer der Station des Streckenabschnittes vor der Arbeitsstelle (in Stationierungsrichtung)
bis Netzknotennr.	Nummer des BAB-Knotens nach der Arbeitsstelle (in Km-Richtung)
bis Station	Lfd. Nummer der Station des Streckenabschnittes nach der Arbeitsstelle (in Stationierungsrichtung)
Beginn Uhrzeit	Startzeit der Arbeitsstelleneinrichtung
Ende Uhrzeit	Endzeit der Arbeitsstelleneinrichtung

verbl. FB-Breite FS1, FR1	Behelfsfahrstreifenbreite in der Arbeitsstelle unter Angabe des Fahrstreifens und der Fahrtrichtung (FS1 = HFS, FS2 = 1. ÜFS, ...)
Teil-BW-Nummer	Nummer eines Bauwerks
BW-Gewichtsbeschränkung	Zulässiges Gewicht der Fahrzeuge für Überfahrt auf Bauwerk
BW-Höhe	Zulässige Höhe für
Aufweitbar	Zusätzliche Breiten für Fahrstreifen verfügbar
Baustellen-Art	Anschlussstelle oder freie Strecke
Vollsperrung	Ja oder Nein
Verkehrssicherung (Telefon)	Ansprechperson bei dem beauftragten Verkehrsabsicherer
Bauüberwachung (Telefon)	Ansprechperson auf Auftraggeberseite
Nachtbaustelle	Ja oder Nein (Durchführen von Arbeiten bei Dunkelheit)

Die Informationen aus NWSIB liegen den Behörden und dem beauftragten Verkehrsabsicherer grafisch als Planunterlagen vor. Auf dieser Basis werden vor Ort die Arbeitsstellen ausgeführt (Beispiel siehe Abbildung 2). Die Pläne werden durch das isac zusätzlich angefordert und mit der realen Einrichtung der AID (aufgenommene Punktwolke) abgeglichen.

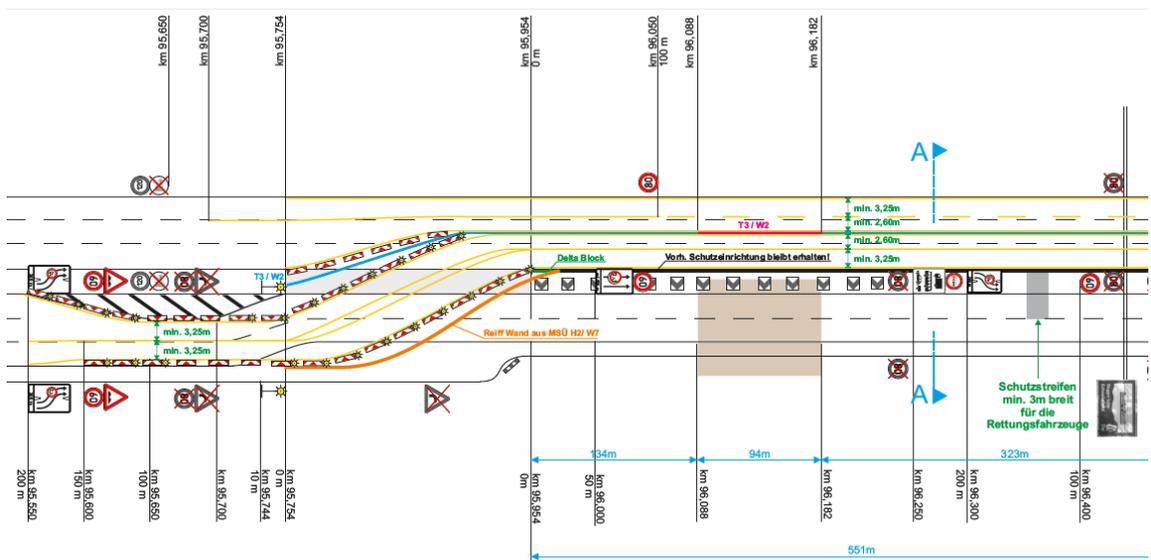


Abbildung 2: Auszug Planunterlage AID Haan-Ost

2. Verkehr

Für die Integration von Verkehrsdaten werden die Schleifendaten aus den Messquerschnitten in NRW erfragt. Für die Demonstratoren AID können die 1-Minuten-Daten nicht für ein historisches Intervall über das MDM-Portal abgerufen werden, sondern liegen dort nur in Form des gerade aktuellen Wertes online zum Abruf vor. Deswegen müssen diese für die relevanten Intervalle über das mFund-Projekt ROSY abgerufen werden.

Für den Verkehrsdaten über das ROSY-Projekt liegen folgende Metainformationen vor:

Tabelle 2: Metainformationen ROSY

Attribut			
Abkürzung	Bezeichnung	Format	Erläuterung
id	Identifikator	12345678	laufende Nummer der Aufzeichnung
recvtime	Aufnahmezeit	dd.mm.yyyy hh:mm	Zeit Eintrag Datenbank
entityid	ID MQ	mq.MQ_ MQXX.XXX _AA_A	eindeutige Bezeichnung eines querschnitts-bezogenen MQ aus MDM
<i>entitytype</i>			<i>bedeutungslos</i>
<i>provider</i>			<i>bedeutungslos</i>
origin	Ursprung	NRW	Bundesland/ Region/ Niederlassung
measure_time	Auswertezeit	dd.mm.yyyy hh:mm	Anfangszeit Intervall
longitude	Längengrad	Koordinaten	
latitude	Breitengrad	Koordinaten	
flow_car	Anzahl PKW	[-]	
flow_lorry	Anzahl LKW	[-]	
flow_sum	Anzahl Kfz	[-]	
speed_car	Geschwindigkeit PKW	km/h	"-1": Geschwindigkeitswert nicht vorhanden
speed_lorry	Geschwindigkeit LKW	km/h	
speed_sum	Geschwindigkeit Kfz	km/h	
<i>cnt_min_we</i>	<i>Anzahl Intervalle</i>	[-]	
<i>verdichtung_id</i>		[-]	<i>bedeutungslos</i>
<i>q_index</i>		(null)	<i>bedeutungslos</i>
<i>lane_count</i>	<i>Fahrestreifenzuweisung</i>	[-]	<i>in Hessen Aggregation</i>
flow_car_norm	Hochgerechnete Anzahl Pkw	[-]	Anzahl Pkw unter Berücksichtigung fehlender Intervalle (Faktor für 60min/h)
flow_lorry_norm	Hochgerechnete Anzahl Lkw	[-]	Anzahl Lkw unter Berücksichtigung fehlender Intervalle (Faktor für 60min/h)
flow_sum_norm	Hochgerechnete	[-]	Anzahl Kfz unter

	Anzahl Kfz		Berücksichtigung fehlender Intervalle (Faktor für 60min/h)
<i>speed_car_avg</i>	<i>Mittelwert der Geschwindigkeiten Pkw</i>	<i>[-]</i>	<i>Durchschnittl. Geschwindigkeit PKW</i>
<i>speed_lorry_avg</i>	<i>Mittelwert der Geschwindigkeiten Lkw</i>	<i>[-]</i>	<i>Durchschnittl. Geschwindigkeit LKW</i>
<i>speed_sum_avg</i>	<i>Mittelwert der Geschwindigkeiten Kfz</i>	<i>[-]</i>	<i>Durchschnittl. Geschwindigkeit Kfz</i>
<i>period</i>		<i>-1</i>	<i>bedeutungslos</i>
<i>hessen_15min_korrigiert</i>		<i>1</i>	<i>bedeutungslos</i>

Für die Detektion von Fahrzeugen werden in Bezug auf die Fahrzeugklassifizierung nach den Kategorien der TLS, 2012 Umhüllende der verschiedenen Fahrzeugkategorien erzeugt. Durch den Abgleich von detektierten Fahrzeugen und den Schemata aus der Datenbank ist somit zunächst eine Klassifizierung in 2+1 oder 8+1 Fahrzeugkategorien vorgesehen.

2.2.3 Datengenese

In Abgrenzung zu den bereits vor Projektbeginn bestehenden Daten werden in DROVA eigene Datensätze erzeugt und weiterverarbeitet.

1. Übersicht der erzeugten Daten

Diese können in zwei Kategorien wie folgt unterteilt werden:

1. Erzeugung von Rohdaten zur Aufnahme des Verkehrs und der Infrastruktur

- a. Einzelfotos mit Exif-Daten zu Kamerastandort und Aufnahmezeitpunkt
- b. Videosequenzen ohne Meta-Informationen zur Kameralage
- c. Flugparametrie (Flight Records) zum Flugverlauf

Damit einhergehend werden folgende notwendige Schritte der reinen Datenaufbereitung im Rahmen einer Plausibilitätsprüfung durchgeführt:

- Kryptifizierte Textdateien des Drohnenherstellers DJI „FlightRecords“
- Entschlüsselte Dateiauszüge der kryptifizierten Textdateien als *.csv Datei
- Dateien im KML-Format zur Darstellung der Flugbewegungen in GoogleEarth
- Fotoaufnahmen als *.jpg
- Videoaufnahmen im Format *.mov
- Aufbereitung der *.csv-Dateien zur Beschreibung der Flugparametrie als *.xlsx
- Ableitung korrigierten Höhendaten der Bild- und Videoflüge als *.xlsx.

2. Weiterverarbeitete Datensätze mit Integration in die Datenbank

a. (Klassifizierte) Punktwolke aus Einzelfotos

Die Metainformationen für die Punktwolke stellen sich dabei wie folgt dar:

Tabelle 3: Metainformationen Punktwolke

Attribut	Beispielwert	Beschreibung
Längengrad/ Longitude/ Ost/ E	364367.100861	Geographische Länge zur Beschreibung eine der beiden Koordinaten eines Ortes auf der Erdoberfläche; Position östlich oder westlich des Nullmeridians
Breitengrad/ Latitude/ Nord/ N	5675841.311626	Die geographische Breite ist die im Winkelmaß angegebene nördliche oder südliche Entfernung eines Punktes der Erdoberfläche vom Äquator.
Höhe	228.495161	<i>Höhe über dem Meeresspiegel</i>
R (RGB)	31	Farbwert im RGB-Farbraum durch die additive Mischung der drei Grundfarben Rot (R), Grün (G) und Blau (B)
G (RGB)	31	
B (RGB)	29	
Normalenvektor	0.621483	Einheitsnormalenvektor für den Punkt in Bezug auf die Fläche für die Schattierung bei der dreidimensionalen Darstellung
	-0.753545	
	-0.214311	

Die Punktwolken können mit beliebiger Georeferenzierung exportiert werden. In dem Projekt DROVA werden folgende Referenzierungen verwendet:

- EPSG 4326: Dateiimport der Einzelfotos mit den Metainformationen der Kameraposition in Dezimalgrad
- EPSG 4647: Öffentliches DGM
- EPSG 25832: Öffentliches DOM

b. Vektorisierter Straßenraum

Nach manuelle Digitalisierung der Markierungslinien zur dreidimensionalen Modellierung des Fahrraums werden diese als AutoCAD-Datei im Format *.dwg gespeichert und können auch als *.dxf exportiert werden. Dabei werden die Markierungstypen nach Grundtypen in Layer strukturiert und innerhalb der Layer mit einer Typen-ID versehen.

c. Einzelpositionen der Fahrzeuge (Detektion)

Jedes detektierte Fahrzeug wird mit einer E- und N-Koordinate und dem zugehörigen Zeitstempel in der Datenbank gespeichert. Durch die erstellten georeferenzierten Punktwolken werden die resultieren Koordinaten der Fahrzeugpositionen in UTM-Koordinatensystem angegeben, Die Positionen können auch in einem lokalen - Koordinatensystem umgerechnet werden.

d. Abgeleitete Fahrzeugtrajektorien (Tracking)

Auf Basis der Einzelfahrzeugposition zu diskreten Zeiten werden kontinuierliche Fahrzeugtrajektorien („3D-Fahrlinien“) nach den physikalischen Prinzipien abgeleitet. Daraus wird der Verlauf der Fahrzeugbewegungen über den Weg und die Zeit vollständig ersichtlich.

e. Daten zur Veröffentlichung der mCloud

Die zur Veröffentlichung vorgesehenen Daten werden von jedem Konsortialpartner gesondert beschrieben.

2. Verwendete Rohdaten der Flight-Records

Bei der eingesetzten Drohne des Typs DJI Phantom 4 Pro+ (bzw. DJI Phantom 4 Pro+ v2.0 ab 25.09.2018) werden die Flugbewegungen in sogenannten „Flight Records“ aufgezeichnet. Diese haben sich im Projektverlauf im Rahmen von Software-Updates zumindest in der Struktur verändert, wobei die Updates vom Hersteller zum sicheren Flugbetrieb zwingend vorgeschrieben sind.

Die in der Fernsteuerung gespeicherten kryptifizierten Textdateien können nicht direkt verwendet werden, sondern müssen über einen Dienstleister nach Upload auf einen Server erst dort konvertiert werden. Dazu wird von Sky-High-Views GbR das Portal airdata.com verwendet. Nach Upload der kryptifizierten Flight-Records stehen die Attribute der Flugparametrie dann zum Download als *.csv-Datei (Textdatei, Felder mittels Kommata getrennt) sowie zu Überblickszwecken auch als *.kml-Datei (Dateiformat zum Overlay in Google-Earth) zur Verfügung.

Folgende Attribute der Flight-Records werden als Rohdaten im Rahmen des Aufbereitungsprozesses weiter verwendet:

- „time(milliseconds)“ – relative Zeitbasis in Schritten von i.d.R. 100ms
- „datetime(utc)“ – absolute Zeit mit Bezug Universal-Time-Coordinated
- „latitude“ – Breitengrad im Dezimalformat WGS 84
- „longitude“ – Längengrad im Dezimalformat WGS 84
- „altitude_above_seaLevel(feet)“ – Höhe über dem Meer in Fuß.

Hinweis: Das Attribut „altitude_above_seaLevel(feet)“ hat sich als über die Flugzeit driftend fehlerbehaftet herausgestellt und wurde vor weiterer Verwendung mittels einer Ausgleichsrechnung korrigiert.

3. Verwendete Rohdaten der per Drohne erhobenen Fotos

Mittels der vom Hersteller DJI in die Drohne integrierten Kamera werden für die Erzeugung der digitalen Geländemodelle benötigten Fotos aufgenommen. Diese beinhalten u.a. GPS-Daten zum Flugort der Drohne (entspricht näherungsweise dem Ort der Kamera).

Dabei wurde im Abgleich mit den Flight-Records festgestellt, dass zwar die in den GPS-Daten gespeicherten Lagekoordinaten plausibel zum Flugverlauf passen, die Höhenkoordinate jedoch einen erheblichen Fehler mit einem nahezu konstanten Versatz (z.B. -90 m) relativ zur Flugbahn aufweist. Deswegen war eine Korrektur der Höhenkoordinate aus den korrigierten Flight-Record-Daten notwendig (lineare Ausgleichsrechnung der Differenz zwischen Start- und Landehöhe am gleichen Platz).

Dazu werden einige Typen der EXIF-Daten („Exchangeable Image File Format“ zur standardisierten Speicherung von Metadaten bei Fotos) aus den im Format *.jpg aufgenommenen Fotos genutzt. Diese werden für die weitere Aufbereitung in folgendem Umfang genutzt:

- „DateTimeOriginal“ (Datum/Zeit der Erstellung der Aufnahme)
- „GPSAltitudeRef“ (GPS Höhenbezug über/unter dem Meeresniveau)
- „GPSAltitude“ (GPS Höhe [m] über/unter dem Meeresniveau)
- „GPSLatitude“ (GPS Breitengrad WGS84)
- „GPSLongitude“ (GPS Längengrad WGS84).

Hinweis: Nachstehende Abbildung enthält Detailangaben zu den GPS-Tags.

Tag ID	Tag Name	Writable	Values / Notes
0x0000	GPSVersionID	int8u[4]	
0x0001	GPSLatitudeRef	string[2]	(tags 0x0001-0x0006 used for camera location according to MWG 2.0. ExifTool will also accept a number when writing GPSLatitudeRef, positive for north latitudes or negative for south, or a string ending in N or S) "N" = North "S" = South
0x0002	GPSLatitude	rational64u[3]	
0x0003	GPSLongitudeRef	string[2]	(ExifTool will also accept a number when writing this tag, positive for east longitudes or negative for west, or a string ending in E or W) "E" = East "W" = West
0x0004	GPSLongitude	rational64u[3]	
0x0005	GPSAltitudeRef	int8u	(ExifTool will also accept a signed number when writing this tag, beginning with "+" for above sea level, or "-" for below) 0 = Above Sea Level 1 = Below Sea Level
0x0006	GPSAltitude	rational64u	

Abbildung 3: GPS-Tags ausgewählter EXIF-Daten [HARVEY, 2019]

3 Datenmanagement während des Forschungsprozesses

Das Datenmanagement umfasst alle grundlegenden Arbeiten mit dem Umgang der bereits zur Verfügung stehenden Daten und der Erzeugung und Verschneidung neuer Datensätze. Zunächst wird dafür in den folgenden Unterkapiteln die zugrundeliegende Methodik erläutert und das daraus resultierende Schema dargestellt. Darauf aufbauend werden die entsprechenden Daten anhand eines Ingestplans getrennt nach bestehenden Datensätzen und im Forschungsprojekt selbst generierten Datensätze mit den vorhandenen Metainformationen aufgelistet.

3.1 Zugrundeliegender Workflow

In dem Forschungsprojekt DROVA wurde eine Methodik zum Ableiten von Fahrzeugtrajektorien entwickelt, bei der zunächst der Streckenabschnitt anhand einer Punktwolke aus einzelnen Orthofotos digital abgebildet, klassifiziert und für die anschließende Verschneidung mit den Verkehrsdaten vektorisiert wurde. Der Verkehr wurde mittels Videosequenzen von circa 20 Minuten aufgenommen und durch automatische Detektions- und Trackingalgorithmen für das Erkennen der Fahrzeugposition im Raum abgeleitet. Als Raummodell wurde dabei ebenfalls die Punktwolke definiert, dessen Perspektive aus der Drohne zunächst stabilisiert und kalibriert wurde. Als Ausgangsgröße werden die Positionen im UTM-Koordinatensystem angegeben und zur weiteren Verkehrsanalyse verwendet. Das Ziel besteht in dem Aufbau einer konsistenten Datenbank, in der sämtliche Informationen über den Demonstrator abgerufen werden können.

Aus dem Datenfluss gehen die Arbeitsschritte in den einzelnen Aufgabenbereiche Anforderungen, Infrastruktur und Verkehr hervor. Die Prozesse sind weiterhin in die Datenauswahl, die Datenerhebung, -analyse (vgl. Ingestplan) und die Datenquellen und -senken gegliedert. Des Weiteren wird an wichtigen Schnittstellen zwischen den Zuständigkeitsbereichen der Projektpartner und des Unterauftragnehmers ein Qualitätsmanagement vorgesehen, das dokumentiert in welchem Umfang, in welcher Qualität und nach welchen Tätigkeiten Daten übergeben werden. Die einzelnen Zuständigkeitsbereiche im Projekt werden im folgenden Unterkapitel erläutert.

3.2 Zuständigkeiten unter den Projektpartnern

Aus den einzelnen Arbeitspaketen sind eindeutige Zuständigkeiten für alle Beteiligten im Projekt DROVA abgeleitet worden. Die Aufgabenbereiche der Projektpartner isac und GETRASOL sowie dessen Unterauftragnehmer Sky-High-Views GbR werden im Folgenden erläutert.

3.2.1 Sky-High-View GbR

Erhebung von Fotos und Videos mittels Drohne (Sky-High-Views GbR) incl. QS:

- Drohnenflug gemäß den abgestimmten Einsatzbedingungen mit Speicherung von Fotos und Videos auf einer Speicherkarte in der Drohne
- Kopie der Fotos und Videos von der Speicherkarte auf eine USB-Platte

- Sicherungskopie der Fotos und Videos auf einer zweiten USB-Platte
- Täglich am Ende eines Flugtags Auslesen der kryptifizierten *.txt-Dateien der Flugparametrie
- Upload der kryptifizierten *.txt-Dateien beim Dienstleister airdata.com mit Sicherung im dortigen Archiv, Sichtung der Inhalte der Flugparametriedaten im Webportal sowie Erzeugung/Download von *.csv- und *.kml-Dateien zur Dokumentation der Flugparametrie
- Überführung der *.csv-Dateien per Import in das Format *.xls, Aufbereitung gemäß gesonderter Dokumentation zur Anpassung von Feldtypen und Bezug der Zeit einheitlich auf GMT
- Durchführung einer Korrekturrechnung zu den Höhenangaben des „FlightRecords“, da gemäß Analyse im Aufschrieb fehlerhaft unter Verwendung der Höhen am Standort von Start und Landung aus GoogleEarth
- Auslesen der Höhenangaben in den für das Digitale Geländemodell benötigten GPS-Koordinaten aus den EXIF-Daten der *.jpg Dateien mittels „exiftool“
- Zuordnung von korrigierten Höhendaten und Zusammenstellung für die weitere Verarbeitung durch das isac
- Sichtkontrollen auf Plausibilität der Korrekturen durch Erstellung von Diagrammen zur Höhe gemäß FlightRecord und Verlauf der korrigierten Höhen
- Aushändigung der Fotos, Videos und Flugparametrie mit QS-Bericht mittels einer Austausch USB-Platte mit Empfangsbestätigung durch das isac.

3.2.2 GETRASOL

- Mitwirkung bei der Erzeugung von Punktwolken aus QS-gesicherten Fotoaufnahmen aus Drohnenflug unter Verwendung von Angaben zur Flugparametrie (Demonstratoren ZRA)
- Ableitung der Beschreibung des Fahrraums durch Vektorisierung von Fahrbahnrand und -markierung mit Modellierung nach einem an OKSTRA orientierten Modell (Demonstratoren ZRA und AID)
- Analyse von 3D-Fahrlinien der Demonstratoren ZRA:

3.2.3 isac

- Erzeugung von Punktwolken aus QS-gesicherten Fotoaufnahmen aus Drohnenflügen mit Verwendung von Angaben zur Flugparametrie
- Extraktion von Fahrbahnmarkierung auf Basis eines schwarz-weiß-Filters
- Kalibrierung und Stabilisierung der QS-gesicherten Videoaufnahmen aus Drohnenflügen mit Verwendung von Angaben zur Flugparametrie
- Detektion und Tracking der Fahrzeuge unter Angabe der Fahrzeugposition mit Zeitstempel und Fahrzeugklasse
- Aufbau der Datenbank mit entsprechenden Schreibe- und Leseschnittstellen
- Standardisierte Speicherung der generierten Daten
- Digitale Verschneidung von makroskopischen und mikroskopischen Verkehrsdaten, sowie deren Überlagerung mit Informationen der vorliegenden Straßeninfrastruktur (Teil AID)
- Verkehrstechnische Analyse der Einzelfahrzeugtrajektorien (Teil AID)

3.2.4 Regelung der Datenübernahmen inkl. QM

Wie bereits aus dem Datenflussmodell (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) ersichtlich ist, ist der Datenaustausch schon während der Projektlaufzeit ein wichtiges Instrument, um die Arbeitsprozesse auf die Projektpartner zu verteilen und zu parallelisieren. Zur Absicherung bestimmter Standards während der Datenerzeugung und -weiterverarbeitung werden kurze Berichte über die erzeugten bzw. weiterverarbeiteten Daten erstellt und der Datenübergabe beigefügt.

4 Beschreibung der zur Verfügung stehenden Datensätze

In diesem Kapitel werden die Eingangsgrößen für das digitale Abbild der Straßeninfrastruktur und des Verkehrs beschrieben und diesbezüglich alle relevanten Metainformationen zusammengefasst. Zudem wird der Datenumfang erläutert, der sich aus der Einsatzplanung ergibt und in einer Einsatzdokumentation mündet. Darin wird bereits aufgrund verschiedener Anwendungsfälle zwischen den Demonstratoren ZRA und AID unterschieden.

4.1 Digitales Abbild und deren Metainformationen

Als Grundlage der Analyse bei den Demonstratoren ZRA und AID werden digitale Abbilder der Wirklichkeit als abstrahierte Informationen verwendet. Dies umfasst zum einen die Beschreibung der aktuellen Infrastruktur in Form des Geländes im Analysebereich (als Punktwolke) und zum anderen die abstrakte Abbildung des Fahrraums durch die Markierung (als Vektorzüge).

4.1.1 Punktwolken als Beschreibung der Infrastruktur

Zur Abbildung des aktuellen Zustands des Analysebereichs wird je Demonstratorstandort eine Punktwolke aus Einzelfotos erzeugt, welche im Wesentlichen aus im dreidimensionalen Raum verorteten Bildpunkten mit einem Farbwert bestehen. Das Verfahren wird im Detail im Sachstandsbericht 04/ 2019 vorgestellt.

Mittels des manuellen Vektorisierens der Markierungen im relevanten Analysebereich der Autobahn (ggfs. auch nur eine Richtungsfahrbahn mit oder ohne Zufahrt) wird die notwendige Grundlage für die Ausrichtung der Analysesoftware zur Erzeugung von Einzelfahrzeugtrajektorien geschaffen. Diese Methode ermöglicht auch die Erfassung von temporären Markierungen, wie diese im Bereich von Arbeitsstellen längerer Dauer (AID) typisch sind.

Es wurden die Standards „OKSTRA“ (Objektkatalog Straßenwesen) [OKSTRA 2019] und „IFC-Road“ [IFC-Road 2019] hinsichtlich der Verwendung für die Bezeichnung der Markierungslinien geprüft. Im Stand von September 2019 sind jedoch im eingeführten Standard OKSTRA die notwendigen Markierungstypen nicht definiert bzw. im noch in Entwicklung befindlichen Standard IFC-Road noch nicht verfügbar.

In Anlehnung an die Anweisung Straßeninformationsbank (ASB) Version 2.04 [ASB 2019] hinsichtlich der Fahrstreifen- und Richtungsbezeichnung werden die Markierungstypen wie folgt eindeutig beschrieben und im Sinne der Klassifikation in die Datenbank übergeben. Folgende Attribute zur einheitlichen Beschreibung der Infrastruktur sind für die Demonstratoren ZRA vorgesehen:

- **Typ d: dauerhafte Markierung (dauerhaft/durable):**
 - Untertyp d1: Fahrbahnrandmarkierung
 - Typ d1.1: Fahrbahnrand Richtungsfahrbahn – rechts (11/21)
 - Typ d1.2: Fahrbahnrand Richtungsfahrbahn – links (z.B. 33/43 bei 2 FS oder 53/63 bei 3 FS)
 - Typ d1.3: Fahrbahnrand Zufahrt - rechts

- Typ d1.4: Fahrbahnrand Zufahrt - links
- Untertyp d2: Blockmarkierung
 - Typ d2.1: Blockmarkierung im Bereich des Beschleunigungsstreifens
- Untertyp d3: Fahrstreifentrennung
 - Typ d3.1: Leitlinie zwischen HFS und UE1 (Codes 13/31 & 23/41)
 - Typ d3.2: Leitlinie zwischen UE1 und UE2 (Codes 33/51 & 23/41)
 - Typ d3.3: Leitlinie in der Zufahrt zwischen HFS und UE1
 - Typ d3.4: Fahrstreifenbegrenzung nach links (Verbot der Überfahrt)
 - Typ d3.5: Fahrstreifenbegrenzung nach rechts (Verbot der Überfahrt)
 - Typ d3.6: Fahrstreifenbegrenzung beidseits (Verbot der Überfahrt)
- Untertyp d4: Haltelinie
 - Typ d4.1: Haltelinie der ZRA – HFS
 - Typ d4.2: Haltelinie der ZRA – UE1

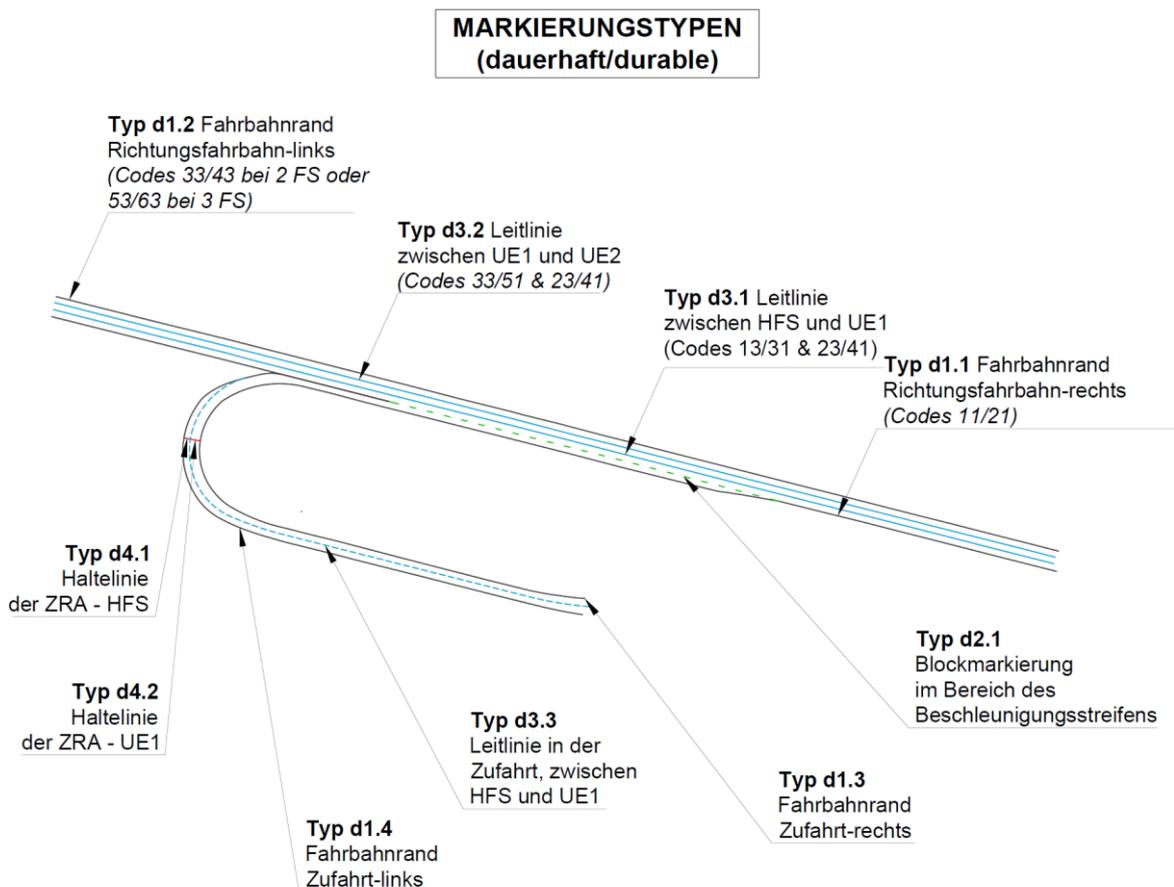


Abbildung 4: Skizze zur Typisierung der Markierung bei den Demonstratoren ZRA

Hinweise zur Anwendung der vorstehend definierten Codierung:

Der Abschnitt auf dem sich die betreffende Markierung und das Koordinatenreferenzsystem befindet ist nach ASB zu bezeichnen mit folgenden Attributen, dabei definiert je Markierungsline das Attributepaar VNK-NNK die Richtung für die selbige gilt.:

- Straßenklasse (z.B. A = Autobahn)
- Straßenummer (z.B. 57)
- von Netzknoten (VNK, z.B. 4906037A für die AS Dormagen)
- nach Netzknoten (NNK, z.B. 4806082A für das Dreieck Neuss-Süd)
- Bezugssystem (04 = ETRS89)
- Koordinatensystem (05 = UTM32).

Hinweis: Die vorstehende Klassifizierung konnte bei den Demonstratoren AID nicht angewendet werden, da es sich dort um temporäre Markierungen handelte.

4.1.2 Einzelfahrzeugdaten als Abbild des Verkehrs

Mit den Methoden der Bildverarbeitung werden aus den Videoaufnahmen Positionen der Einzelfahrzeuge und dessen Fahrzeugtyp bestimmt. Zunächst stehen Fahrzeugumhüllende als Punktwolken aus Laserscannermessungen zur Verfügung (Abbildung 5) mit dessen Abgleich die Fahrzeugtypen der Einzelfahrzeuge aus dem Video bestimmt werden können (Abbildung 6).

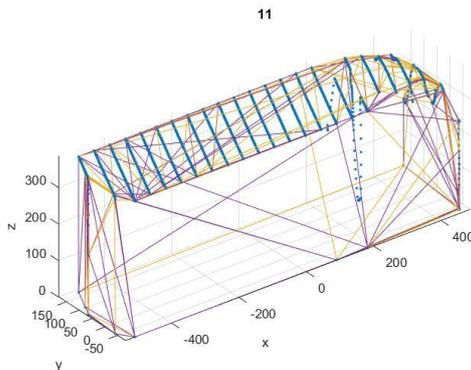


Abbildung 5: Fahrzeugumhüllende LKW



Abbildung 6: Manuelle Detektion im Video

Durch das Anklicken der Fahrzeuge, wenn die Punktwolke des Fahrzeugtyps ausgerichtet worden ist, werden die Position in x-, y- und z-Richtung sowie einem Zeitstempel mit der vehicleID und der templateID in die Datenbank übergeben. Die Positionsangabe wird in UTM-Koordinaten ausgegeben und entspricht damit dem Datenformat der Infrastruktur.

Aus den Einzelpositionen der Fahrzeuge in Raum und Zeit werden durch Funktionen, die als physikalische Bewegungsgleichung fungieren, zusammenhängende Fahrlinien (sogenannte Einzelfahrzeugtrajektorien) abgeleitet. Als Funktion wird derzeit eine kombinierte Funktion aus einem Polynom dritten Grades und einer Spline Funktion verwendet.

Somit werden die Bewegungsvorgänge der einzelnen Fahrzeuge nicht mehr diskret, sondern kontinuierlich über den Weg und die Zeit ermittelt. Als Resultat ergeben sich die Einzelfahrzeugtrajektorien nach Abbildung 7, wovon die Geschwindigkeiten und die Beschleunigungen der Fahrzeuge ebenfalls abgeleitet werden können.

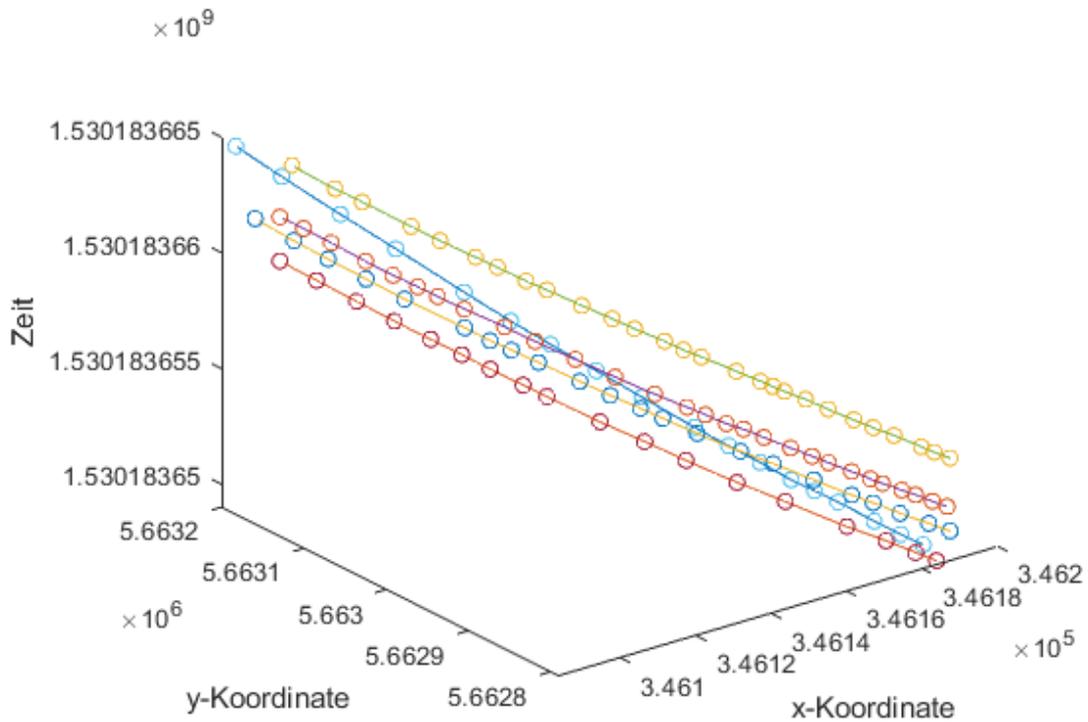


Abbildung 7: Plot Einzelfahrzeugtrajektorien Testdatensatz Dormagen

Die Punkte repräsentieren dabei die manuell geklickten Fahrzeugpositionen zu der reellen Zeit an dem das Fahrzeug diesen Ort des Streckenabschnitts passiert hat. Die Positionen sind mit der beschriebenen Funktion verbunden worden. Anhand der Funktionen und deren Ableitungen sind somit die mikroskopischen Analysen der Fahrzeugbewegungen, der Interaktionen zwischen den Fahrzeugen, sowie der Interaktionen zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur möglich.

4.2 Datenumfang nach Demonstratoren

Zur Beschreibung des Datenumfangs je Demonstratoren fallen neben der Einsatzplanung Daten zur tatsächlich durchgeführten Erhebung von Daten und deren Verwendbarkeit an (Einsatzdokumentation). Im nachfolgenden Schritt der Evaluierung der erhobenen Rohdaten hinsichtlich der weiteren Verwendbarkeit müssen teilweise Daten mangels Eignung von der weiteren Verwendung ausgeschlossen werden bzw. können nur eingeschränkt genutzt werden. Dies wird arbeitsteilig von den Projektpartner je Demonstrator dokumentiert.

4.2.1 Demonstratoren ZRA

Die Einsatzplanung von GETRASOL für den Demonstrator ZRA wird eng mit Straßen.NRW im Rahmen der nach verkehrstechnischer Analyse bestimmten Flugzeiten für die Beobachtungsflüge für die Verkehrsanalyse abgestimmt. Diese werden per E-Mail jeweils unmittelbar vor den Flügen für bis zu einer Woche im Voraus als Flugplan angekündigt.

Die tabellarisch aufgebaute Einsatzdokumentation für den Demonstrator ZRA erfolgt aufbauend auf die Planung unter Ausweisung der tatsächlich durchgeführten Flüge bzw. einer Erläuterung warum Flüge nicht durchgeführt werden konnten (Änderung der Wettervorhersage, Abbruch Vorort z.B. wegen Nebel oder Starkwind).

Darauf aufbauend wird die Verwendbarkeit der Daten nach deren Evaluierung in einer separaten Tabelle mit dem gesamten erhobenen Datenmaterial dokumentiert. Dabei war wegen beschränkter Kapazitäten zur Generierung von Einzelfahrzeugtrajektorien durch das isac eine Beschränkung auf 12 Videos je Demonstrator ZRA bzw. 84 Videos für alle 7 Demonstratoren erforderlich (ca. 1 Std Videomaterial je Standort). Im Rahmen der finalen Aufbereitung wurde festgestellt, dass die 12 Videos an einem der Standort durch das isac nicht stabilisiert und damit nicht ausgewertet werden konnten.

4.2.2 Demonstratoren AID

Für jedes Testfeld wurden zunächst die notwendigen Einzelfotos erstellt, damit die Punktwolke als digitales Abbild der Straßeninfrastruktur erarbeitet werden konnte. Der erstellte Datenumfang für diesen Arbeitsschritt ist in Tabelle 4 beschrieben.

Tabelle 4: Erstellung Einzelfotos zur Generierung der Punktwolke

Tag	Uhrzeit		Ort	AS		Untersuchungsbereich	Zweck	Aufnahme Fotos
	von	bis		von	bis			
10.04.2018	07:28	07:38	BAB 3	Leverkusen	Obladen		Testfotos	18
07.05.2018	10:37	11:29	BAB 553	Köln Brühl-Ost	L52	1. Ende	Voruntersuchung	233
07.05.2018	12:59	13:57	BAB 1	Burscheid	Wermelskirchen	Vorlaufbereich	Voruntersuchung	647
08.05.2018	10:10	10:44	BAB 3	Leverkusen	Obladen	Vorlauf 1. Ende	Voruntersuchung	526
08.05.2018	11:23	11:32	BAB 3	Leverkusen	Obladen	Vorlauf 2. Ende	Voruntersuchung	319
08.05.2018	13:39	13:49	BAB 43	Witten-Herberde	Sprockhövel	1. Ende	Voruntersuchung	375
08.05.2018	13:58	14:06	BAB 43					
08.05.2018	14:24	14:42	BAB 43	Sprockhövel	Witten-Herberde	2. Ende	Voruntersuchung	576
27.06.2018	11:53	12:32	BAB 1	Burscheid	Wermelskirchen	Vorlaufbereich	Punktwolke	348
29.06.2018	10:50	11:34	BAB 1	Witten-Herberde	Sprockhövel	1. Ende	Punktwolke	306
29.06.2018	13:14	13:57	BAB 1	Witten-Herberde	Sprockhövel	2. Ende	Punktwolke	362
02.07.2018	14:37	14:39	BAB 553	Köln Brühl-Ost	L52	2. Ende	Testfotos	
03.07.2018	09:57	12:53	BAB 46	Dreieck Jackerath		1. Ende	Punktwolke	551
						2. Ende ?	Punktwolke	
31.07.2018	10:31	11:50	46	Haan Ost	Wuppertal-Cr.		Voruntersuchung	138
26.10.2018	10:07	10:39	46	Haan Ost	Wuppertal-Cr.		Punktwolke	162

Des Weiteren wurde für die Verkehrsanalysen von den relevanten Demonstratoren Videomaterial gesammelt. Die Beobachtungszeiträume können wie folgt dargestellt werden.

BAB	Demonstrator	Datum	Maßgebende Stunden
-----	--------------	-------	--------------------

Beschreibung der zur Verfügung stehenden Datensätze

A 1	AS Wermelskirchen – AS Burscheid	07.05.2018	13:00 Uhr bis 15:00 Uhr
		27.06.2018	10:00 Uhr bis 15:00 Uhr
A 46	AS Haan-Ost – AS Wuppertal-Cron.	31.07.2018	11:00 Uhr bis 13:00 Uhr
		26.10.2018	08:00 Uhr bis 13:00 Uhr
		14.01.2019	15:00 Uhr bis 18:00 Uhr
		21.01.2019	10:00 Uhr bis 12:00 Uhr
		25.02.2019	09:00 Uhr bis 12:00 Uhr
		01.03.2019	15:00 Uhr bis 16:00 Uhr
		24.03.2019	15:00 Uhr bis 19:00 Uhr
		26.03.2019	06:00 Uhr bis 08:00 Uhr
		13.05.2019	08:00 Uhr bis 10:00 Uhr
		22.05.2019	07:00 Uhr bis 10:00 Uhr
		27.05.2019	15:00 Uhr bis 21:00 Uhr
		29.05.2019	08:00 Uhr bis 11:00 Uhr
A 43	AS Witten – AS Sprockhövel	08.05.2018	13:00 Uhr bis 15:00 Uhr
		29.06.2018	09:00 Uhr bis 14:00 Uhr
		31.07.2018	07:00 Uhr bis 10:00 Uhr
		26.02.2019	08:00 Uhr bis 12:00 Uhr
A565	AS Bonn-Beuel	13.05.2019	05:00 Uhr bis 07:00 Uhr
		14.05.2019	14:00 Uhr bis 17:00 Uhr
		15.05.2019	06:00 Uhr bis 08:00 Uhr
		21.06.2019	15:00 Uhr bis 17:00 Uhr
A2	AS Kamen-Bergkamen	16.05.2019	06:00 Uhr bis 09:00 Uhr
		23.05.2019	08:00 Uhr bis 10:00 Uhr
		14.06.2019	15:00 Uhr bis 18:00 Uhr
		03.07.2019	15:30 Uhr bis 17:00 Uhr

Im Rahmen der finalen Aufbereitung wurde festgestellt, dass die Videos an dem Standort AS Wermelskirchen – AS Burscheid wegen unzureichender Datenqualität und -menge der Fahrzeugpositionen nicht ausgewertet werden konnten.

5 Analyse und Auswertung der Daten

Für die Auswertung der Daten und insbesondere die spezialisierte Verkehrsanalyse werden zum einen verschiedene Anwendungssoftwares verwendet und zum anderen Eigenentwicklungen programmiert, die zur Ergebnisfindung beitragen. Hinsichtlich der verschiedenen Datenformate kann somit die mögliche Anwendung der Datensätze sichergestellt werden.

5.1 Einsatz Software

1. Agisoft Photoscan/ Metashape:

AgiSoft Metashape ist ein Werkzeug für eine Photogrammetrie-Pipeline. Die Software in der Pro-Version wird verwendet um aus den Einzelfotos Punktwolken im Sinne von GIS-Inhalten zu erzeugen.

<https://www.agisoft.com/>

2. CloudCompare:

CloudCompare ist eine freie plattformunabhängige Programm-Bibliothek, durch die eine Verarbeitung und der Vergleich von Punktwolken sowie anderer dreidimensionaler Geometrien ermöglicht wird.

<https://www.danielgm.net/cc/>

3. AutoCAD (Recap Pro, Civil3D, InfraWorks):

Das Programm AutoCad wird mit den verschiedensten angegliederten Produkten zur Ableitung von Vektoren aus der Punktwolke verwendet.

<https://www.autodesk.de/>

4. MySQL (Workbench):

MySQL als Open-Source-Software wird zur Verwaltung der Datenbank am isac betrieben. Sie bildet die Basis für die Verwaltung der generierten Infrastruktur- und Verkehrsdaten.

<https://www.mysql.com/de/>

5. Matlab:

Die kommerzielle Software Matlab dient zur Lösung mathematischer Probleme und zur grafischen Darstellung der Ergebnisse. Es ist vor allem für numerische Berechnungen mithilfe von Matrizen ausgelegt. Das isac verwendet die Software für die Eigenentwicklungen in den Bereichen der Videoverarbeitung und Verkehrsdatenverarbeitung und -analyse.

<https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

5.2 Eigenentwicklung

Für die Ableitung der Fahrzeugtrajektorien, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen aus den Einzelpositionsdaten sowie für die Sicherheitsanalyse mittels Indikatoren wurden am isac unterschiedlichen Funktionen in Matlab programmiert. Die Veröffentlichung der methodischen Vorgehensweise sind nach Projektabschluss in internationalen Fachschriften vorgesehen.

Für die Ableitung von lokalen und momentanen TLS-Daten [TLS, 2012] aus den vom Konsortialpartner isac bereitgestellten Einzelfahrzeugtrajektorien wurden bei GETRASOL als Eigenentwicklung Tools in Matlab programmiert, diese sind von der Veröffentlichung im Rahmen des Projekts ausgeschlossen, da für die Umsetzung als Dienstleistung wettbewerbsentscheidend.

5.3 Aufbau der Datenbank

Die am isac erstellte Datenbank zur Speicherung der Infrastruktur- und Verkehrsdaten stellt sich wie folgt schematisch dar (Abbildung 8):

Datenbank				Verkehrsdaten					
Markierung ID	UTM-E	UTM-N	UTM-Höhe	FahrzeugID	FormID	UTM-E	UTM-N	UTM-Höhe	Zeitstempel (s)
HFS	379164.87	5696058.07	119.04	1	21	379097.788	5696485.43	119.04	0.48
HFS	379160.40	5696079.99	118.29	1	21	379097.74	5696485.82	118.29	0.50
HFS	379153.93	5696111.88	117.11	1	21	379097.688	5696486.15	117.11	0.52
HFS	379146.30	5696149.81	115.68	1	21	379097.542	5696486.5	115.68	0.53
HFS	379139.87	5696181.80	114.49	1	21	379097.567	5696486.85	114.49	0.55
HFS	379133.69	5696213.11	113.26	1	...	...	...	...	...
HFS	379129.48	5696234.78	112.43	2	4	379098.559	5696483.44	115.62	2.73
UEHFS1	379161.007	5696060.03	119.072	2	4	379098.471	5696483.98	114.75	2.75
UEHFS1	379143.171	5696147.14	115.831	2	4	379098.414	...	...	...
UEHFS1	...	...	...	2	...	...	...	...	...

Fahrzeugformen				
FormID	Fahrzeugtyp	x	y	z
3	PKW	0.302	-0.842	1.15
3	PKW	1.260	-0.814	1.15
3	...	...	...	...
4	PKW	-0.033	-0.989	1.26
4	PKW	0.877	-0.963	1.26
4	PKW	1.789	-0.850	1.26
4	PKW	2.104	-0.768	1.26
4	...	...	...	...

Abbildung 8: isacDB

Die aus den Punktwolken erzeugten Punkte, die die einzelnen Fahrbahnmarkierungen beschreiben, sind in der Datenbank mit deren UTM-Koordinaten gespeichert und mit dem zugehörigen Fahrbahnmarkierung-ID versorgt. Die Einzelfahrzeugdaten sind ebenfalls

in UTM-Koordinaten gespeichert und mit einerID gekennzeichnet. Als weitere Dimension ist der Zeitstempel gegeben. Zur Fahrzeuge gehört noch einem FormID, die die ID der für das Tracking benutzte Umhüllung repräsentiert. Die Koordinaten der Umhüllungen sind separat in deren eigenen Koordinatensystem beschrieben, deren Ursprung im Mittelpunkt der Umhüllung liegt. Mit diesen Informationen ist die digitale Verschneidung der Infrastrukturdaten und Verkehrsdaten möglich.

Literaturverzeichnis

- [**ASB 2019**] Version 2-04 Bundesanstalt für Straßenwesen, https://www.bast.de/BASSt_2017/DE/Verkehrstechnik/Publikationen/Regelwerke/Unterseiten/V-ASB.html, Okt. 2019
- [**FEHLING et. al, 2005**] Fehling, E.; Schmidt, M.; Teichmann, T.; Bunje, K.; Bornemann, R.; Middendorf, B.: Entwicklung, Dauerhaftigkeit und Berechnung Ultrahochfester Betone (UHPC), Forschungsbericht DFG FE 497/1-1, Heft 1, Schriftenreihe Baustoffe und Massivbau, kassel university press GmbH, Kassel 2005
- [**HARVEY, 2019**] Harvey, P., Website zum „exiftool“ <https://www.sno.phy.queensu.ca/~phil/exiftool/TagNames/GPS.html>, Juni 2019
- [**IFC-Road 2019**] http://ifcinfra.de/ifc_road/ Projekt noch in Bearbeitung, kein Download von Standards verfügbar, Sept. 2019
- [**OKSTRA 2019**] Version 2-018, <http://www.okstra.de/> Sept. 2019
- [**LÖTHER, 2001**] Löther, W.: Straßenbau-Praxis, BauwerkVerlag GmbH, Berlin 2001
- [**RStO 01**] Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen, Ausgabe 2001, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), Köln 2001
- [**TLS, 2012**] Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen, Ausgabe 2012, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Invalidenstr. 44, 10115 Berlin
- [**forschungsdaten.info, 2019**] <https://www.forschungsdaten.info/themen/planen-und-strukturieren/datenmanagementplan/> Januar 2019

Analyseergebnisse ZRA

Übersicht Demonstrator ZRA A57 AS Dormagen



Abbildung 1: Standortübersicht A57 AS Dormagen [Quelle: Google Earth]



Abbildung 2: Drohnen-Perspektive A57 AS Dormagen [Quelle: Sky-High-Views GbR]

Örtliche Besonderheiten:

- Bewuchs in der Nähe der Haltelinie ZRA und Auffahrt der Anschlussstelle
- Für das 3D-Modell konnte nur bedingt auf einer Seite geflogen werden, wegen der dichten Bebauung.

Hinweise zur Digitalisierung und Beobachtung:

- Fahrzeuge konnten bis an das Ende der Zufahrt getrackt werden
- Es konnte ein vollständiges 3D-Modell erstellt werden, trotz teilweise fehlender Perspektive wegen starker Bebauung auf einer Seite.

Geländemodell:



Abbildung 3: 3D-Modell A57 AS Dormagen [Quelle: GETRASOL]

Grundlage von Einzelvideos für die Auswertung:

Kürzel	Einzelvideos	Bemerkung
DOR-01	\2019-10-14_Dormagen\100MEDIA\DJI_0002.MOV	
DOR-02	\2019-10-14_Dormagen\100MEDIA\DJI_0003.MOV	
DOR-03	\2019-10-14_Dormagen\100MEDIA\DJI_0006.MOV	
DOR-04	\2019-10-14_Dormagen\100MEDIA\DJI_0007.MOV	
DOR-05	\2019-10-14_Dormagen\100MEDIA\DJI_0010.MOV	
DOR-06	\2019-10-14_Dormagen\100MEDIA\DJI_0011.MOV	
DOR-07	\2019-10-23_Dormagen\100MEDIA\DJI_0006.MOV	
DOR-08	\2019-10-23_Dormagen\100MEDIA\DJI_0007.MOV	
DOR-09	\2019-10-23_Dormagen\100MEDIA\DJI_0009.MOV	
DOR-10	\2019-10-23_Dormagen\100MEDIA\DJI_0010.MOV	
DOR-11	\2019-10-23_Dormagen\101MEDIA\DJI_0002.MOV	nicht stabilisierbar
DOR-12	\2019-10-23_Dormagen\101MEDIA\DJI_0003.MOV	
DOR-13	\2019-10-14_Dormagen\101MEDIA\DJI_0001.MOV	
DOR-14	\2019-10-14_Dormagen\101MEDIA\DJI_0002.MOV	
DOR-15	\2019-10-14_Dormagen\101MEDIA\DJI_0003.MOV	
DOR-16	\2019-10-14_Dormagen\101MEDIA\DJI_0004.MOV	

Matlab Analyse:

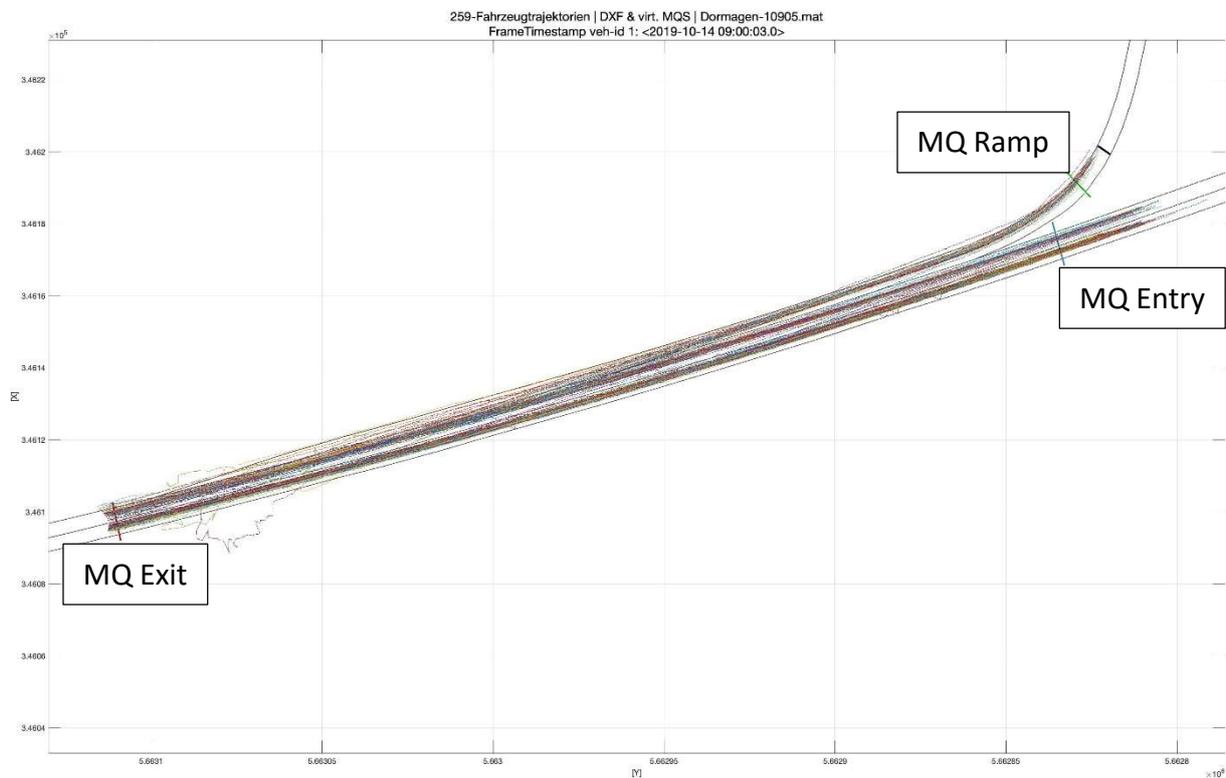


Abbildung 4: Übersicht aller Fahrzeugtrajektorien A57 AS Dormagen (Beispiel Einzelvideo, Rohmaterial ungeglättet)

Fahrraumanalyse (visuell):

Auswertung Trajektorien Plotsets	nach links	nach links	nach links	nach rechts	nach rechts	nach rechts
Einfahrt	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
	21	342	67			
HFS	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
	67	29	18			
ÜFS1	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
				7	16	31

Bemerkungen zur Analyse:

- Eingeschränkter Umfang Analysematerial von nur ca. 1 Std
- Fahrzeuge konnten nicht an der Haltelinie getrackt werden
- MQ musste vorgezogen werden
- Schwerpunkt des Fahrstreifenwechsel im mittleren Drittel der Zufahrt, relativ viel Ausweichverkehr nach links auf dem HFS zum ÜFS1.

Fazit zur Analyse ZRA:

- im Analysezeitraum ZRA überwiegend inaktiv
- während der aktiven Zeiten harmonische Regelung
- entsprechend der Vorauswahl des Zeitfensters mittlere bis hohe Belastung
- kein unnötiger Eingriff der Regelung durch die ZRA festzustellen
- auffällig ist das häufige Überfahren der rechten Randmarkierung der Zufahrt, damit keine Erfassung der Fahrzeuge an den lokalen Messeinrichtungen der betreffenden Zufahrt.

Übersicht Demonstrator ZRA A61 AS Erfstadt



Abbildung 1: Standortübersicht A61 AS Erfstadt [Quelle: Google Earth]

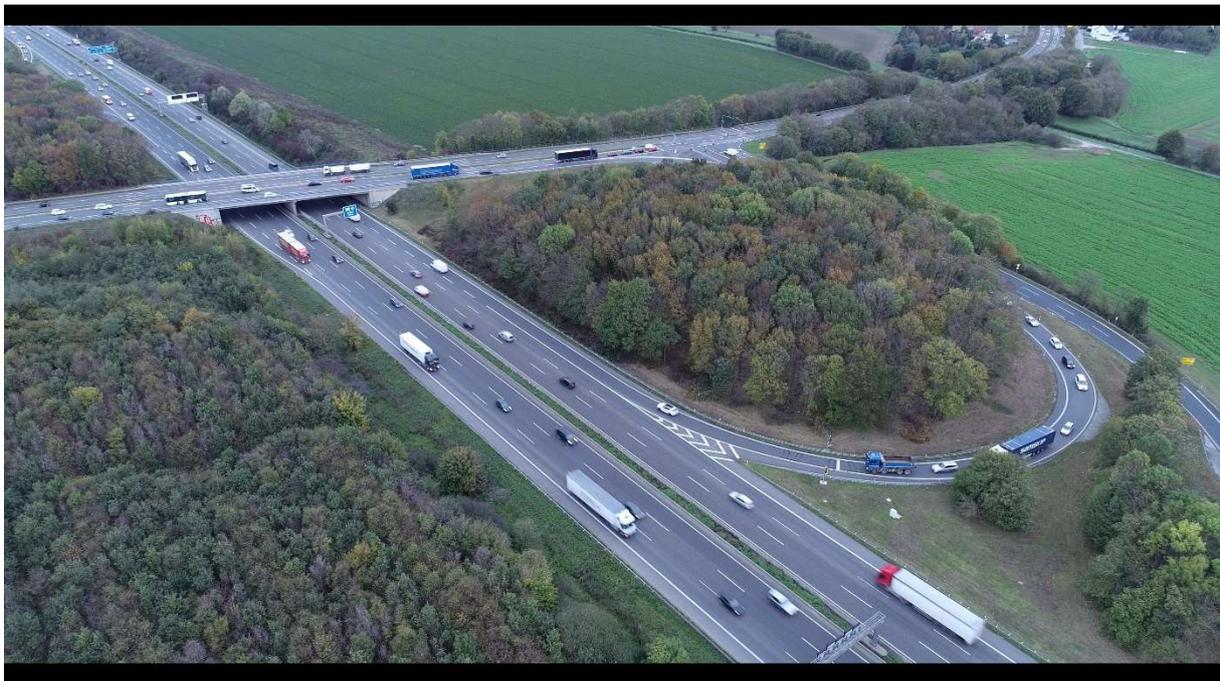


Abbildung 2: Drohnen-Perspektive A61 AS Erfstadt [Quelle: Sky-High-Views GbR]

Örtliche Besonderheiten:

- Bewuchs in der Nähe der Haltelinie ZRA und Auffahrt der Anschlussstelle

Hinweise zur Digitalisierung und Beobachtung:

- Fahrzeuge konnten nicht bis hinter den Einfahrtsbereich getrackt werden, da eine Brücke ein Hindernis für das Tracking dargestellt hat.
- Es konnte ein vollständiges 3D-Modell erstellt werden trotz teilweise massiven Bewuchses im Einfahrtsbereich.

Geländemodell:



Abbildung 3: 3D-Modell A61 AS Erfstadt [Quelle: GETRASOL]

Grundlage von Einzelvideos für die Auswertung:

Kürzel	Einzelvideos
ERF-01	\2019-10-16_Erfstadt\100MEDIA\DJI_0002.MOV
ERF-02	\2019-10-16_Erfstadt\100MEDIA\DJI_0003.MOV
ERF-03	\2019-10-16_Erfstadt\101MEDIA\DJI_0002.MOV
ERF-04	\2019-10-16_Erfstadt\101MEDIA\DJI_0003.MOV
ERF-05	\2019-10-16_Erfstadt\101MEDIA\DJI_0010.MOV
ERF-06	\2019-10-16_Erfstadt\101MEDIA\DJI_0011.MOV
ERF-07	\2019-10-22_Erfstadt\101MEDIA\DJI_0005.MOV
ERF-08	\2019-10-22_Erfstadt\101MEDIA\DJI_0006.MOV
ERF-09	\2019-10-22_Erfstadt\101MEDIA\DJI_0009.MOV
ERF-10	\2019-10-22_Erfstadt\101MEDIA\DJI_0010.MOV
ERF-11	\2019-10-22_Erfstadt\102MEDIA\DJI_0002.MOV
ERF-12	\2019-10-22_Erfstadt\102MEDIA\DJI_0003.MOV

Matlab Analyse

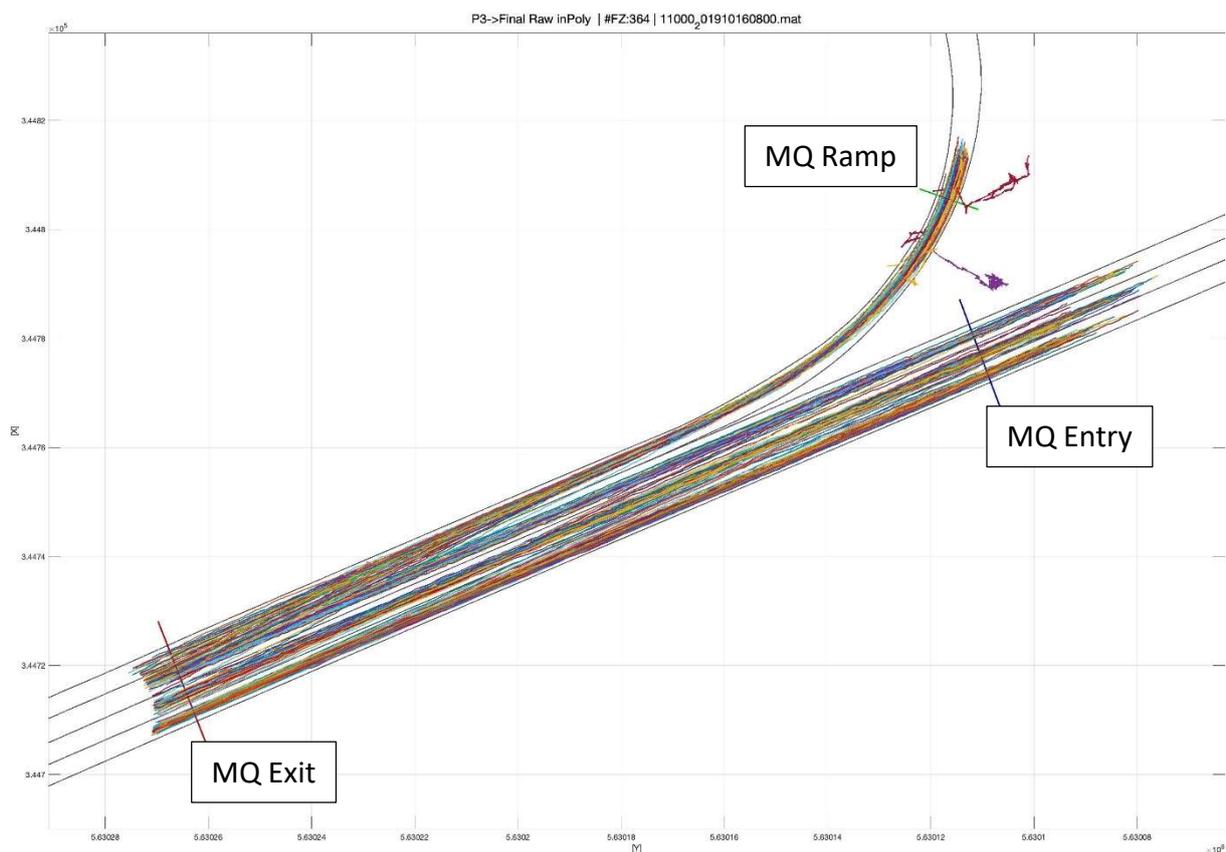


Abbildung 4: Übersicht aller Fahrzeugtrajektorien A61 AS Erfstadt (Beispiel Einzelvideo, Rohmaterial ungeglättet)

Fahrraumanalyse (visuell):

Auswertung Trajektorien Plotsets	nach links	nach links	nach links	nach rechts	nach rechts	nach rechts
Einfahrt	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
	0	34	462			
HFS	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
	31	38	14			
ÜFS1	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
	23	41	16	1	10	11
ÜFS2	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
				13	7	8

Bemerkungen zur Analyse:

- Eingeschränkter Umfang Analysematerial von nur ca. 1 Std
- Fahrzeuge konnten nicht bis zum Ende der Zufahrt getrackt werden, der MQ „Exit“ für die TLS-Analyse musste deutlich vorgezogen werden
- Schwerpunkt des Fahrstreifenwechsels im letzten Drittel der Einfahrt, relativ wenig Ausweichverkehr nach links vom HFS zum ÜFS1.

Fazit zur Analyse ZRA:

- im Analysezeitraum ZRA überwiegend inaktiv
- während der aktiven Zeiten harmonische Regelung
- entsprechend der Vorauswahl des Zeitfensters mittlere bis hohe Belastung mit gelegentlich deutlichem Geschwindigkeitseinbruch auf dem HFS bei zufahrenden Pulks, die durch signalisierten Linkseinbieger überlagert mit unsignalisiertem Rechtseinbieger entstehen (oft Schwall Kurierdienstfahrzeuge)
- Regelung der ZRA sollte früher greifen.

Hinweis: Siehe auch Detailanalyse TLS-Daten in Anlage_ZRA-2_A61-Erfstadt-TLS

Übersicht Demonstrator ZRA A1 AS Hamm-Bergkamen



Abbildung 1: Standortübersicht A1 AS Hamm-Bergkamen [Quelle: Google Earth]



Abbildung 2: Drohnen-Perspektive A1 AS Hamm-Bergkamen [Quelle: Sky-High-Views GbR]

Örtliche Besonderheiten:

- Noch keine Ausstattung mit einer ZRA vorhanden, hier Prüfung auf Eignung für diesen Anlagentyp ursprünglich geplant.
- Bewuchs in der Nähe der Auffahrt der Anschlussstelle.

Hinweise zur Digitalisierung und Beobachtung:

- Fahrzeuge konnten nicht bis hinter den Einfahrtsbereich getrackt werden, da eine Brücke ein Hindernis dargestellt hat.
- Es konnte ein vollständiges 3D-Modell erstellt werden.

Geländemodell:

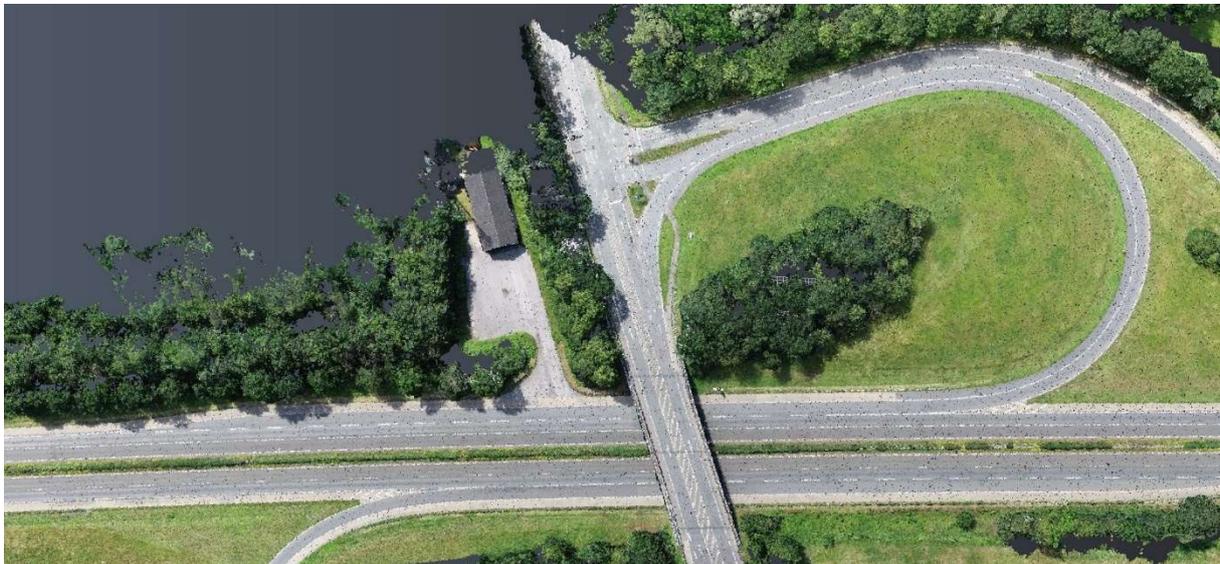


Abbildung 3: 3D-Modell A1 AS Hamm-Bergkamen [Quelle: GETRASOL]

Grundlage von Einzelvideos für die Auswertung:

Kürzel	Einzelvideos
HAB-01	\2018-10-31_A1_Hamm-Bergkamen\100MEDIA\DJI_0002.MOV
HAB-02	\2018-10-31_A1_Hamm-Bergkamen\100MEDIA\DJI_0003.MOV
HAB-03	\2018-10-31_A1_Hamm-Bergkamen\100MEDIA\DJI_0004.MOV
HAB-04	\2018-10-31_A1_Hamm-Bergkamen\100MEDIA\DJI_0009.MOV
HAB-05	\2018-10-31_A1_Hamm-Bergkamen\100MEDIA\DJI_0010.MOV
HAB-06	\2018-10-31_A1_Hamm-Bergkamen\100MEDIA\DJI_0011.MOV
HAB-07	\2019-10-24_Hamm-Bergkamen\100MEDIA\DJI_0005.MOV
HAB-08	\2019-10-24_Hamm-Bergkamen\100MEDIA\DJI_0006.MOV
HAB-09	\2019-10-24_Hamm-Bergkamen\100MEDIA\DJI_0007.MOV
HAB-10	\2019-10-24_Hamm-Bergkamen\100MEDIA\DJI_0008.MOV
HAB-11	\2019-10-24_Hamm-Bergkamen\100MEDIA\DJI_0009.MOV
HAB-12	\2019-10-24_Hamm-Bergkamen\100MEDIA\DJI_0010.MOV

Matlab Analyse:

Es konnte keine Matlab Analyse durchgeführt werden, da für diesen Demonstrator keine Fahrlinien zur Verfügung stehen. Ursache hierfür war die nicht durchführbare Stabilsierung der Videos beim Konsortialpartner isac.

Bemerkungen zur Analyse:

Es wurde keine weitere Analyse durchgeführt.

Hinweis: Wie im Rahmen eines Präsentationstermins an den assoziierten Projektpartner Straßen.NRW (zwischenzeitlich Die Autobahn GmbH des Bundes) berichtet und anhand von Beispielvideos demonstriert eher Probleme bei der Verflechtungsleistung in Folge der durchgezogenen Markierung zwischen HFS und ÜFS1 im Bereich der Einfahrt.

Übersicht Demonstrator ZRA A57 AS Neuss-Reuschenberg

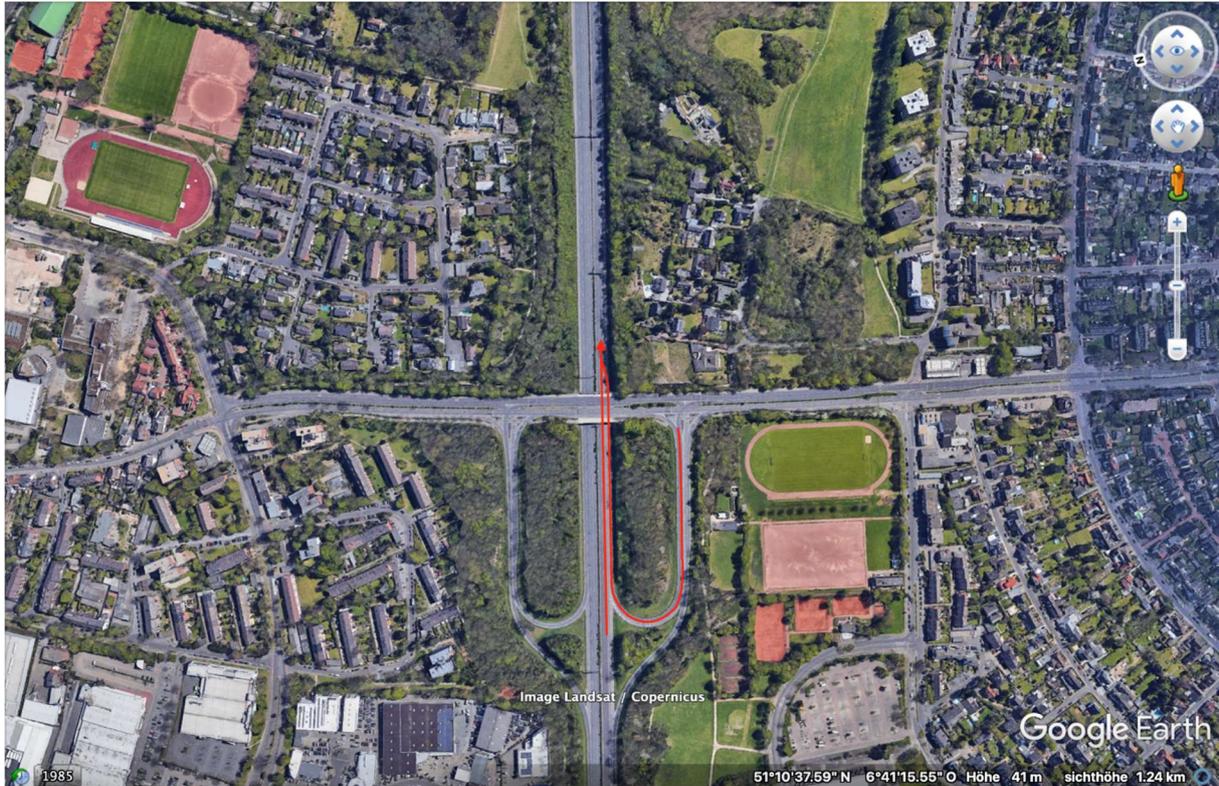


Abbildung 1: Standortübersicht A57 AS Neuss-Reuschenberg [Quelle: Google Earth]



Abbildung 2: Drohnen-Perspektive A57 AS Neuss-Reuschenberg [Quelle: Sky-High-Views GbR]

Örtliche Besonderheiten:

- Zweistreifige Zufahrt als Sonderfall, konnte jedoch zusammenhängend erst hinter der Haltelinie der ZRA nach Zusammenführung der Fahrstreifen getrackt werden.
- Bewuchs in der Nähe der Haltelinie ZRA und Auffahrt der Anschlussstelle.

Hinweise zur Digitalisierung und Beobachtung:

- Fahrzeuge konnten nicht bis hinter den Einfahrtsbereich getrackt werden, da eine Brücke ein Hindernis dargestellt hat.
- Es konnte ein vollständiges 3D-Modell erstellt werden trotz teilweise massiven seitlichen Bewuchses.

Geländemodell:



Abbildung 3: Drohnen-Perspektive A57 AS Neuss-Reuschenberg [Quelle: Sky-High-Views GbR]

Grundlage von Einzelvideos für die Auswertung:

Kürzel	Einzelvideos
NER-01	\2018-10-29_A57_Neuss-Reuschenberg\100MEDIA\DJI_0005.MOV
NER-02	\2018-10-29_A57_Neuss-Reuschenberg\100MEDIA\DJI_0006.MOV
NER-03	\2018-10-29_A57_Neuss-Reuschenberg\100MEDIA\DJI_0007.MOV
NER-04	\2018-11-05_A57_Neuss-Reuschenberg\100MEDIA\DJI_0006.MOV
NER-05	\2018-11-05_A57_Neuss-Reuschenberg\100MEDIA\DJI_0007.MOV
NER-06	\2018-11-05_A57_Neuss-Reuschenberg\100MEDIA\DJI_0008.MOV
NER-07	\2018-11-13_A57_Neuss-Reuschenberg\100MEDIA\DJI_0001.MOV
NER-08	\2018-11-13_A57_Neuss-Reuschenberg\100MEDIA\DJI_0002.MOV
NER-09	\2018-11-13_A57_Neuss-Reuschenberg\100MEDIA\DJI_0003.MOV
NER-10	\2018-11-22_A57_Neuss-Reuschenberg\100MEDIA\DJI_0001.MOV
NER-11	\2018-11-22_A57_Neuss-Reuschenberg\100MEDIA\DJI_0002.MOV
NER-12	\2018-11-22_A57_Neuss-Reuschenberg\100MEDIA\DJI_0003.MOV

Matlab Analyse

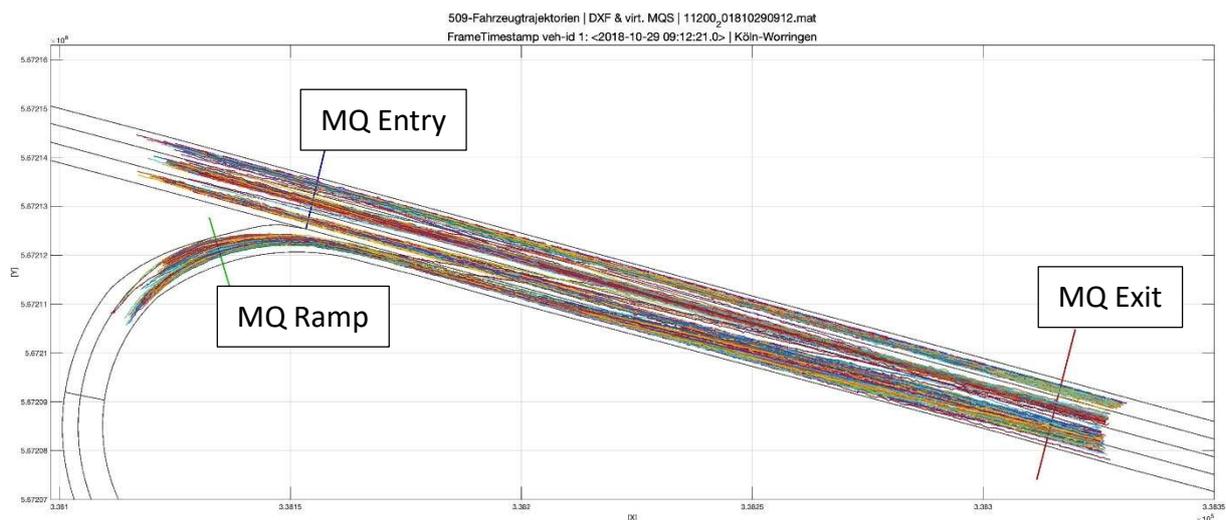


Abbildung 4: Übersicht aller Fahrzeugtrajektorien A57 AS Neuss-Reuschenberg (Beispiel Einzelvideo, Rohmaterial ungeglättet)

Fahrraumanalyse (visuell):

Auswertung Trajektorien Plotsets	nach links	nach links	nach links	nach rechts	nach rechts	nach rechts
Einfahrt	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
	4	135	418			
HFS	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
	31	29	13			
ÜFS1	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
	30	33	15	4	7	5
ÜFS2	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
				10	17	14

Bemerkungen zur Analyse:

- Eingeschränkter Umfang Analysematerial von nur ca. 1 Std
- Fahrzeuge konnten nicht an der Haltelinie getrackt werden, MQ musste vorgezogen werden
- es konnten ebenfalls die Fahrzeuge nicht bis zum Ende der Zufahrt getrackt werden
- Schwerpunkt des Fahrstreifenwechsels im letzten Drittel der Einfahrt, relativ wenig Ausweichverkehr nach links vom HFS zum ÜFS1.

Fazit zur Analyse ZRA:

- im Analysezeitraum ZRA überwiegend häufig aktiv
- während der aktiven Zeiten harmonische Regelung
- entsprechend der Vorauswahl des Zeitfensters mittlere bis hohe Belastung mit gelegentlich Stau der von stromab in die Anschlussstelle einwandert, d.h. mit einer Optimierung der Verflechtung durch die ZRA kann hier nur eingeschränkt der Verkehrsfluss optimiert werden.

Übersicht Demonstrator ZRA A57 AS Köln-Worringen

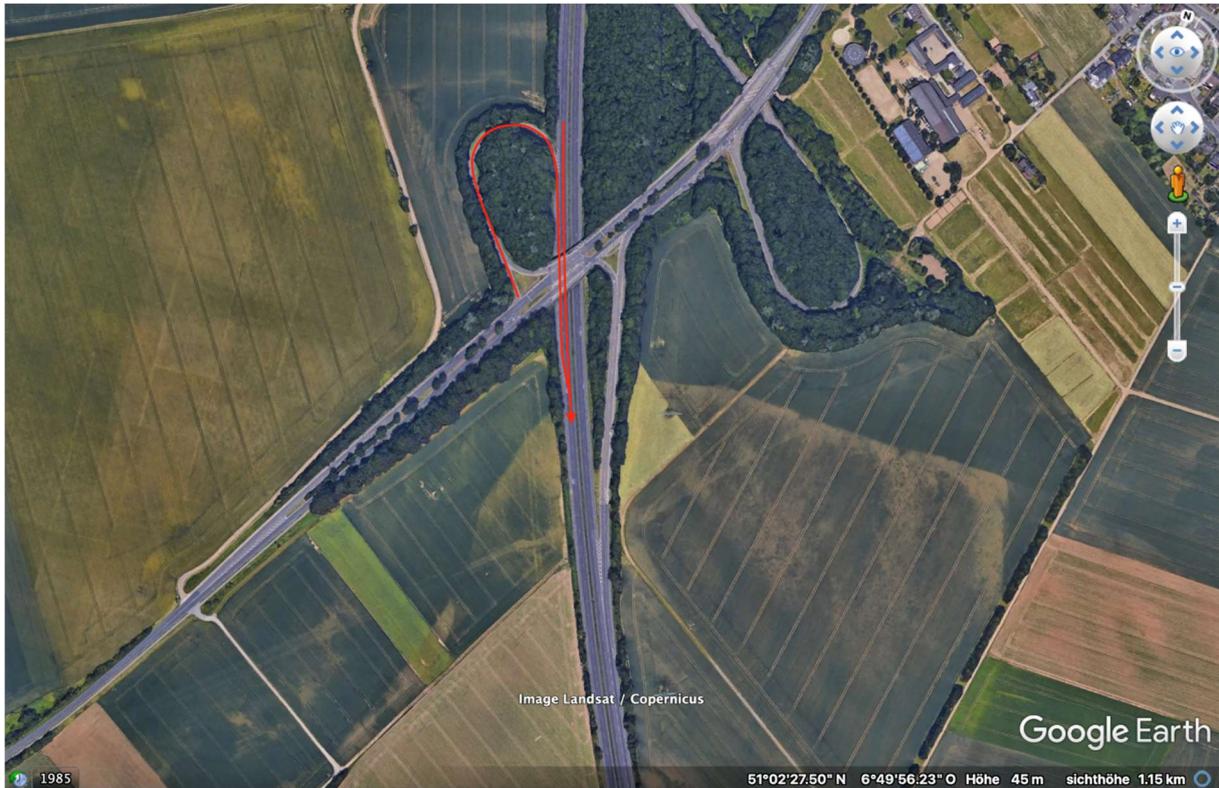


Abbildung 1: Standortübersicht A57 AS Köln-Worringen [Quelle: Google Earth]

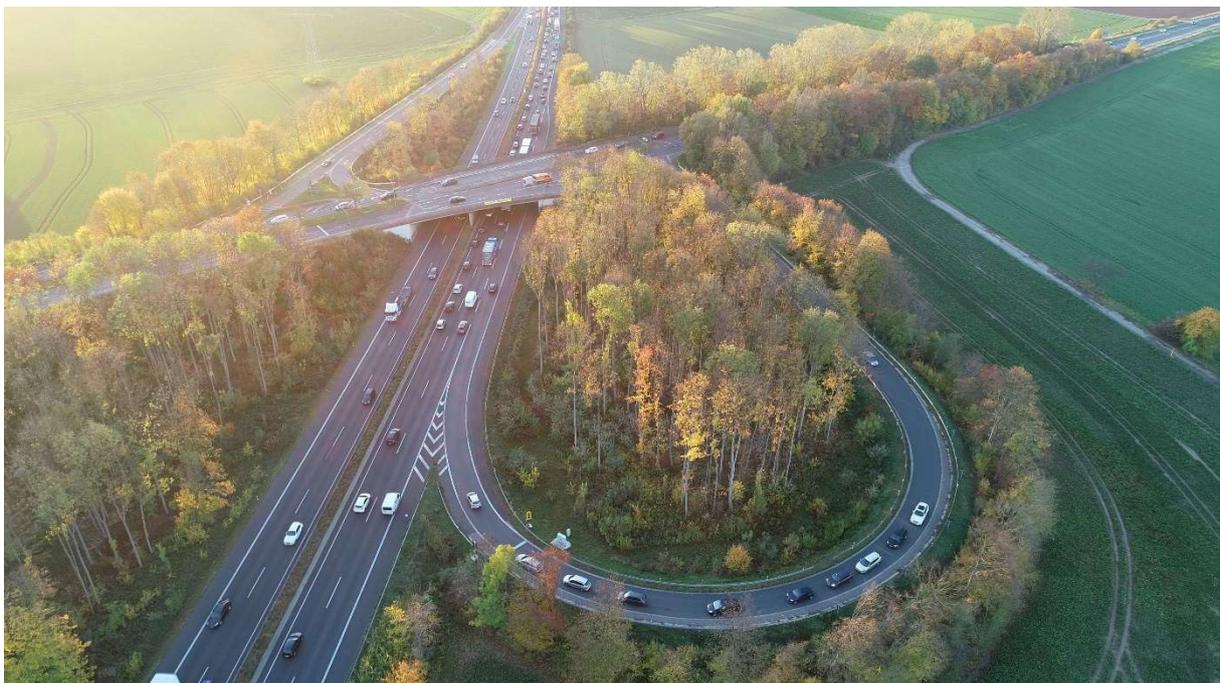


Abbildung 2: Drohnen-Perspektive A57 AS Köln-Worringen [Quelle: Sky-High-Views GbR]

Örtliche Besonderheiten:

- Bewuchs in der Nähe der Haltelinie ZRA und Auffahrt der Anschlussstelle.

Hinweise zur Digitalisierung und Beobachtung:

- Fahrzeuge konnten nicht bis hinter den Einfahrtsbereich getrackt werden, da eine Brücke ein Hindernis dargestellt hat.
- Es konnte ein vollständiges 3D-Modell erstellt werden trotz teilweise massiven seitlichen Bewuchses.

Geländemodell:



Abbildung 3: Drohnen-Perspektive A57 AS Köln-Worringen [Quelle: Sky-High-Views GbR]

Grundlage von Einzelvideos für die Auswertung:

Kürzel	Einzelvideos
WOR-01	\\2018-11-07_A57_Köln-Worringen\100MEDIA\DJI_0001.MOV
WOR-02	\\2018-11-07_A57_Köln-Worringen\100MEDIA\DJI_0002.MOV
WOR-03	\\2018-11-07_A57_Köln-Worringen\100MEDIA\DJI_0003.MOV
WOR-04	\\2018-11-15_A57_Köln-Worringen\100MEDIA\DJI_0001.MOV
WOR-05	\\2018-11-15_A57_Köln-Worringen\100MEDIA\DJI_0002.MOV
WOR-06	\\2018-11-15_A57_Köln-Worringen\100MEDIA\DJI_0003.MOV
WOR-07	\\2018-11-21_A57_Köln-Worringen\100MEDIA\DJI_0001.MOV
WOR-08	\\2018-11-21_A57_Köln-Worringen\100MEDIA\DJI_0002.MOV
WOR-09	\\2018-11-21_A57_Köln-Worringen\100MEDIA\DJI_0003.MOV
WOR-10	\\2018-11-27_A57_Köln-Worringen\100MEDIA\DJI_0005.MOV
WOR-11	\\2018-11-27_A57_Köln-Worringen\100MEDIA\DJI_0006.MOV
WOR-12	\\2018-11-27_A57_Köln-Worringen\100MEDIA\DJI_0007.MOV

Matlab Analyse

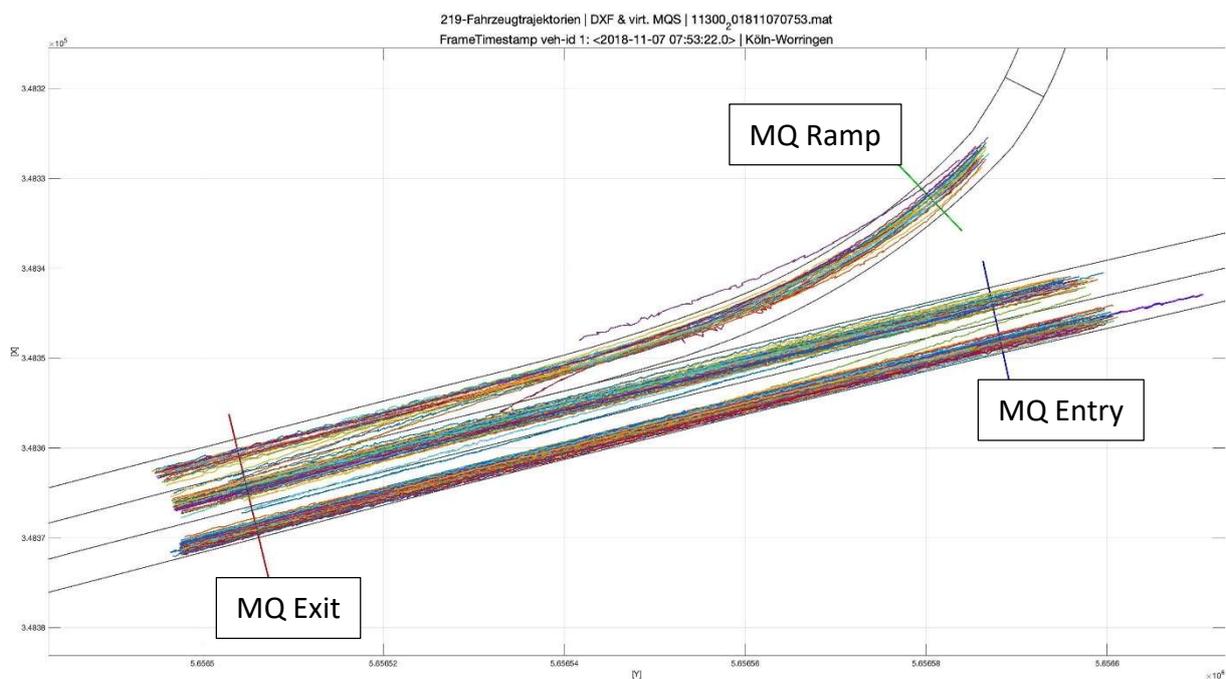


Abbildung 4: Übersicht aller Fahrzeugtrajektorien A57 AS Köln-Worringen (Beispiel Einzelvideo, Rohmaterial ungeglättet)

Fahrraumanalyse (visuell):

Auswertung Trajektorien Plotsets	nach links	nach links	nach links	nach rechts	nach rechts	nach rechts
Einfahrt	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
	0	2	33			
HFS	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
	6	3	5			
ÜFS1	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
				1	0	2

Bemerkungen zur Analyse:

- Eingeschränkter Umfang Analysematerial von nur ca. 1 Std
- Fahrzeuge konnten nicht an der Haltelinie getrackt werden, MQ „Ramp“ musste vorgezogen werden.
- Es konnten ebenfalls die Fahrzeuge nicht bis zum Ende der Einfahrt getrackt werden, der MQ „Exit“ musste extrem weit vorgezogen werden und nur wenig Fahrstreifenwechsel liegen im Analysebereich der Trajektorien
- Bei den wenigen erfassten Fahrstreifenwechseln im Analysebereich liegt der Schwerpunkt im letzten Drittel der Einfahrt.

Fazit zur Analyse ZRA:

- im Analysezeitraum ZRA überwiegend inaktiv
- während der aktiven Zeiten offensichtlich zu restriktive Regelung
- entsprechend der Vorauswahl des Zeitfensters mittlere bis hohe Belastung mit häufig von stromab einwanderndem Stau, d.h. Wirkung der ZRA kann sich nicht entfalten
- Regelung der ZRA sollte nachparametriert werden.

Übersicht Demonstrator ZRA A46 AS Neuss-Holzheim

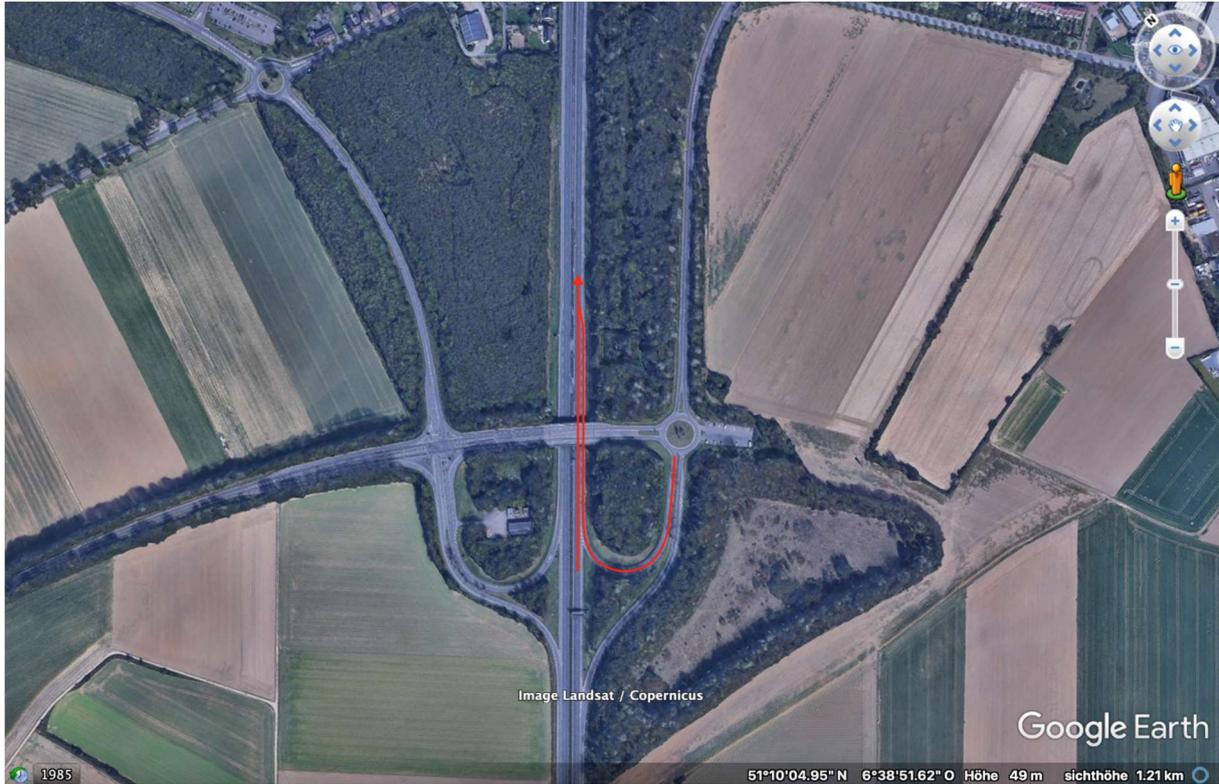


Abbildung 1: Standortübersicht A46 AS Neuss-Holzheim [Quelle: Google Earth]



Abbildung 2: Drohnen-Perspektive A46 AS Neuss-Holzheim [Quelle: Sky-High-Views GbR]

Örtliche Besonderheiten:

- Bewuchs in der Nähe der Haltelinie ZRA und Auffahrt der Anschlussstelle.

Hinweise zur Digitalisierung und Beobachtung:

- Fahrzeuge konnten nicht bis hinter den Einfahrtsbereich getrackt werden, da eine Brücke ein Hindernis dargestellt hat.
- Es konnte ein vollständiges 3D-Modell erstellt werden trotz teilweise massiven seitlichen Bewuchses.

Geländemodell:

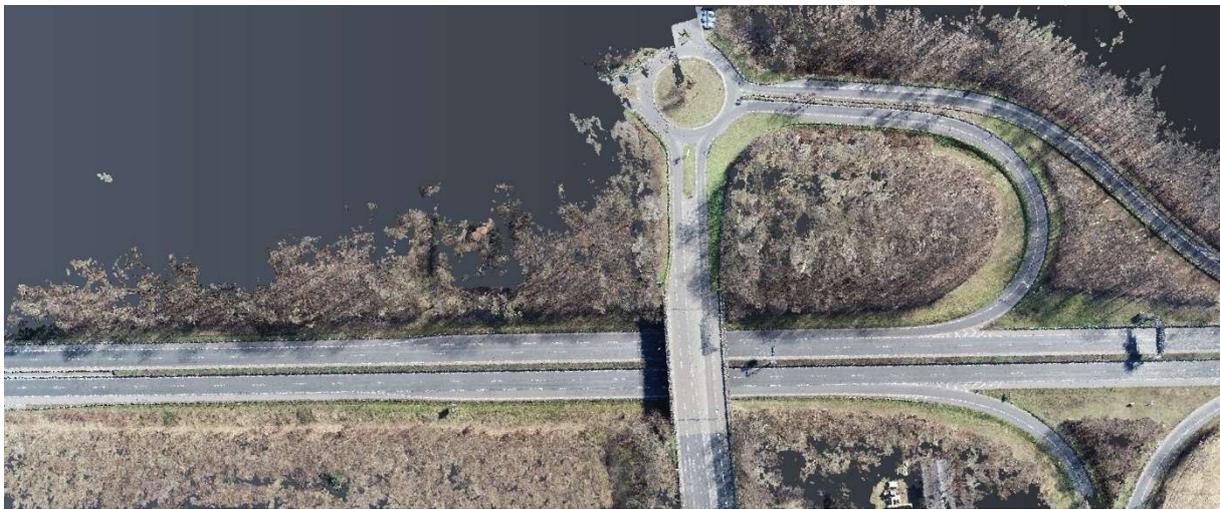


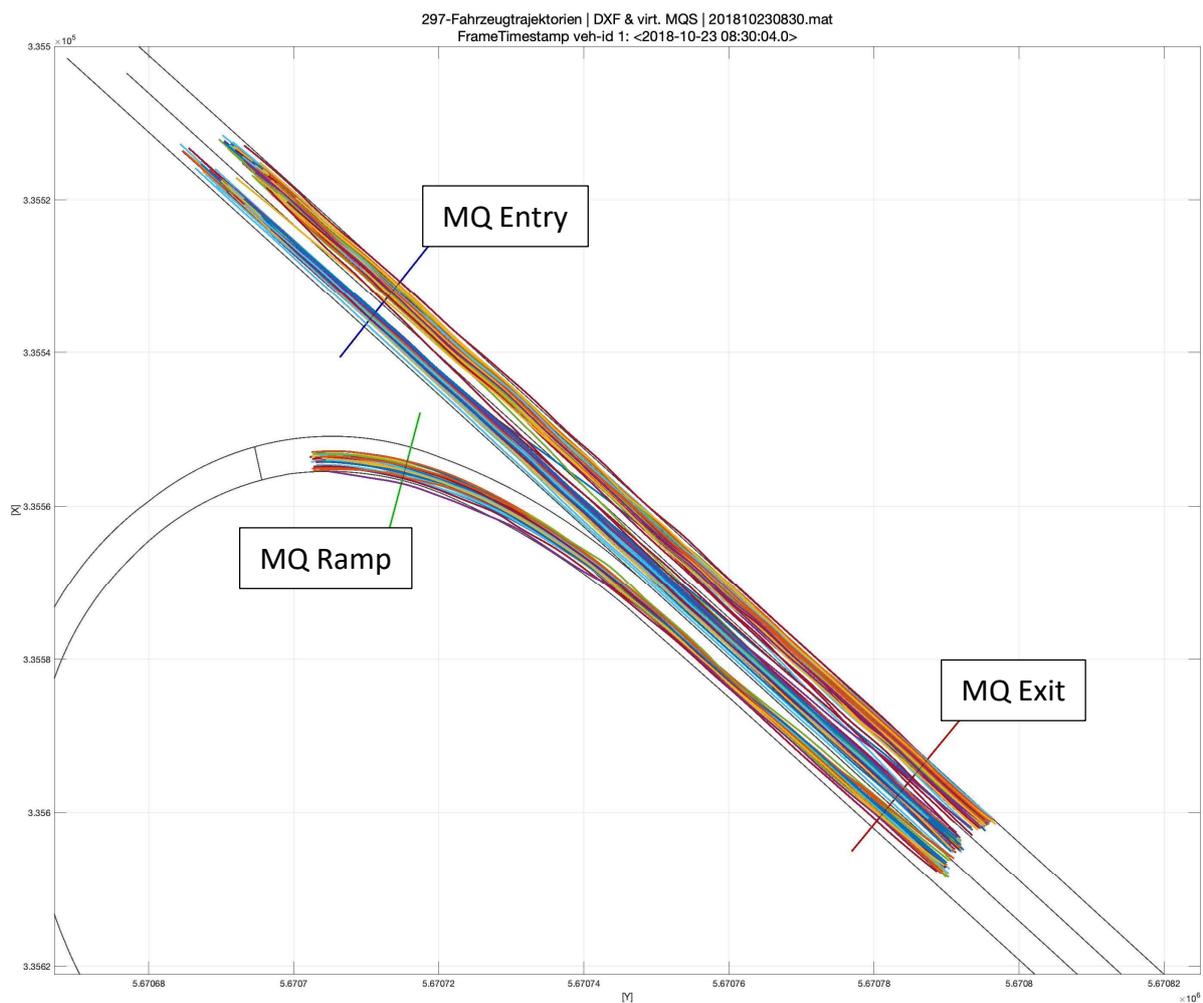
Abbildung 3: Drohnen-Perspektive A46 AS Neuss-Holzheim [Quelle: Sky-High-Views GbR]

Grundlage von Einzelvideos für die Auswertung:

Kürzel	Einzelvideos	Bemerkung
NEH-01	\2018-10-23_A46_Neuss-Holzheim\100MEDIA\DJI_0001.MOV	
NEH-02	\2018-10-23_A46_Neuss-Holzheim\100MEDIA\DJI_0002.MOV	
NEH-03	\2018-10-23_A46_Neuss-Holzheim\100MEDIA\DJI_0003.MOV	
NEH-04	\2018-11-06_A46_Neuss-Holzheim\100MEDIA\DJI_0005.MOV	konnte nicht stabilisiert werden
NEH-05	\2018-11-06_A46_Neuss-Holzheim\100MEDIA\DJI_0006.MOV	
NEH-06	\2018-11-06_A46_Neuss-Holzheim\100MEDIA\DJI_0007.MOV	
NEH-07	\2018-11-14_A57_Neuss-Holzheim\100MEDIA\DJI_0009.MOV	(A46)
NEH-08	\2018-11-14_A57_Neuss-Holzheim\100MEDIA\DJI_0010.MOV	(A46)
NEH-09	\2018-11-14_A57_Neuss-Holzheim\100MEDIA\DJI_0011.MOV	(A46)
NEH-10	\2018-11-23_A46_Neuss-Holzheim\100MEDIA\DJI_0001.MOV	konnte nicht stabilisiert werden
NEH-11	\2018-11-23_A46_Neuss-Holzheim\100MEDIA\DJI_0002.MOV	
NEH-12	\2018-11-23_A46_Neuss-Holzheim\100MEDIA\DJI_0003.MOV	

Matlab Analyse

Abbildung 4: Übersicht aller Fahrzeugtrajektorien A46 AS Neuss-Holzheim (Beispiel Einzelvideo, Rohmaterial ungeglättet)



Fahrraumanalyse (visuell):

Auswertung Trajektorien Plotsets	nach links	nach links	nach links	nach rechts	nach rechts	nach rechts
Einfahrt	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
	0	1	13			
HFS	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
	8	3	5			
ÜFS1	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
				1	3	2

Bemerkungen zur Analyse:

- Fahrzeuge konnten nicht an der Haltelinie getrackt werden, MQ musste vorgezogen werden.
- Es konnten ebenfalls die Fahrzeuge nicht bis zum Ende der Einfahrt getrackt werden
- da nur ein sehr geringer Anteil der Verflechtungsvorgänge mittels Einzelfahrzeugtrajektorien erfasst und kann nicht sinnvoll bewertet werden.

Fazit zur Analyse ZRA:

- im Analysezeitraum ZRA überwiegend aktiv
- während der aktiven Zeiten harmonische Regelung
- entsprechend der Vorauswahl des Zeitfensters mittlere bis hohe Belastung mit mehrfach Stau auf HFS und ÜFS1, dann Wirkung ZRA nicht möglich.

Übersicht Demonstrator ZRA A43 AS Senden



Abbildung 1: Standortübersicht A43 AS Senden [Quelle: Google Earth]

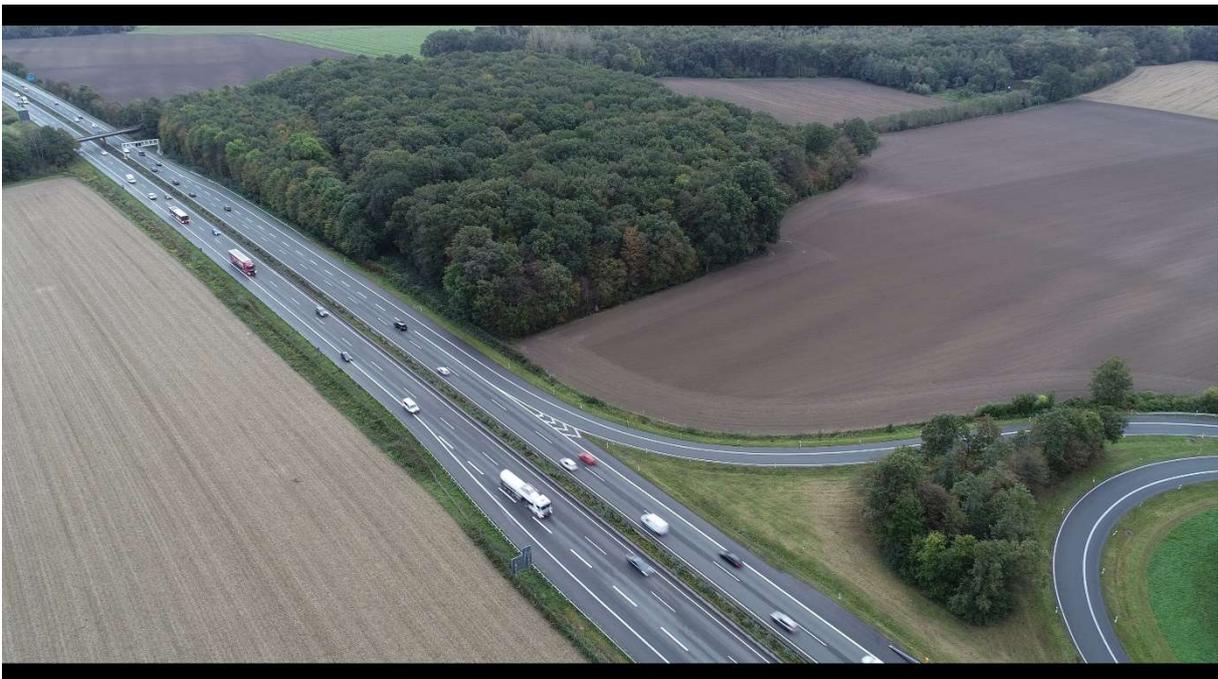


Abbildung 2: Drohnen-Perspektive A43 AS Senden [Quelle: Sky-High-Views GbR]

Örtliche Besonderheiten:

- Anschlussstelle ist noch nicht mit einer ZRA ausgestattet, hier Analyse der Zweckmäßigkeit dieses Anlagentyps vorgesehen.
- Nur geringfügiger Bewuchs in der Nähe der Haltelinie ZRA und Auffahrt der Anschlussstelle, dennoch abschnittsweise sichtverdeckend.

Hinweise zur Digitalisierung und Beobachtung:

- Fahrzeuge konnten bis hinter den Einfahrtsbereich getrackt werden.

Geländemodell:



Abbildung 3: 3D-Modell A43 AS Senden [Quelle: GETRASOL]

Grundlage von Einzelvideos für die Auswertung:

Kürzel	Einzelvideos	Bemerkung
SEN-01	\2019-10-09_Senden\100MEDIA\DJI_0005.MOV	konnte nicht stabilisiert werden
SEN-02	\2019-10-09_Senden\100MEDIA\DJI_0006.MOV	
SEN-03	\2019-10-09_Senden\100MEDIA\DJI_0007.MOV	
SEN-04	\2019-10-09_Senden\100MEDIA\DJI_0008.MOV	
SEN-05	\2019-10-09_Senden\101MEDIA\DJI_0001.MOV	
SEN-06	\2019-10-09_Senden\101MEDIA\DJI_0002.MOV	
SEN-07	\2019-10-09_Senden\101MEDIA\DJI_0003.MOV	
SEN-08	\2019-10-09_Senden\101MEDIA\DJI_0004.MOV	
SEN-09	\2019-10-10_Senden\100MEDIA\DJI_0005.MOV	
SEN-10	\2019-10-10_Senden\100MEDIA\DJI_0006.MOV	
SEN-11	\2019-10-10_Senden\100MEDIA\DJI_0007.MOV	
SEN-12	\2019-10-10_Senden\100MEDIA\DJI_0008.MOV	

Matlab Analyse

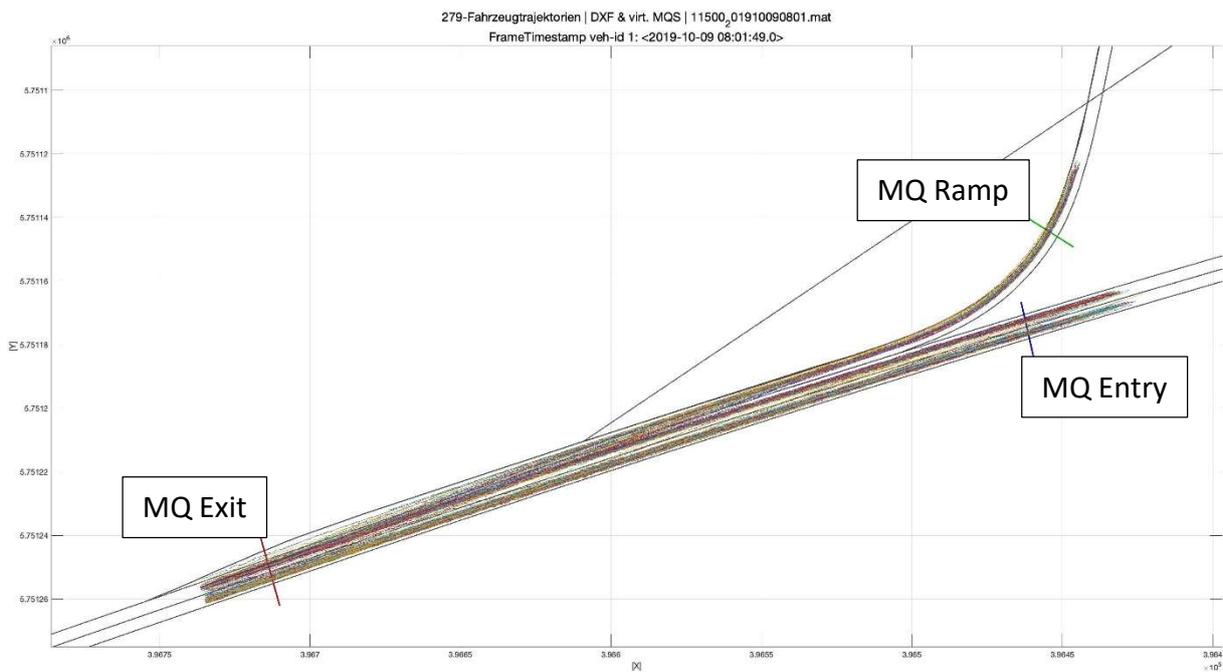


Abbildung 4: Übersicht aller Fahrzeugtrajektorien A43 AS Senden (Beispiel Einzelvideo, Rohmaterial ungeglättet)

Fahrraumanalyse (visuell):

Auswertung Trajektorien Plotsets	nach links	nach links	nach links	nach rechts	nach rechts	nach rechts
Einfahrt	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
	3	194	190			
HFS	1/3	103	3/3	1/3	2/3	3/3
	30	13	16			
ÜFS1	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
				7	8	9

Bemerkungen zur Analyse:

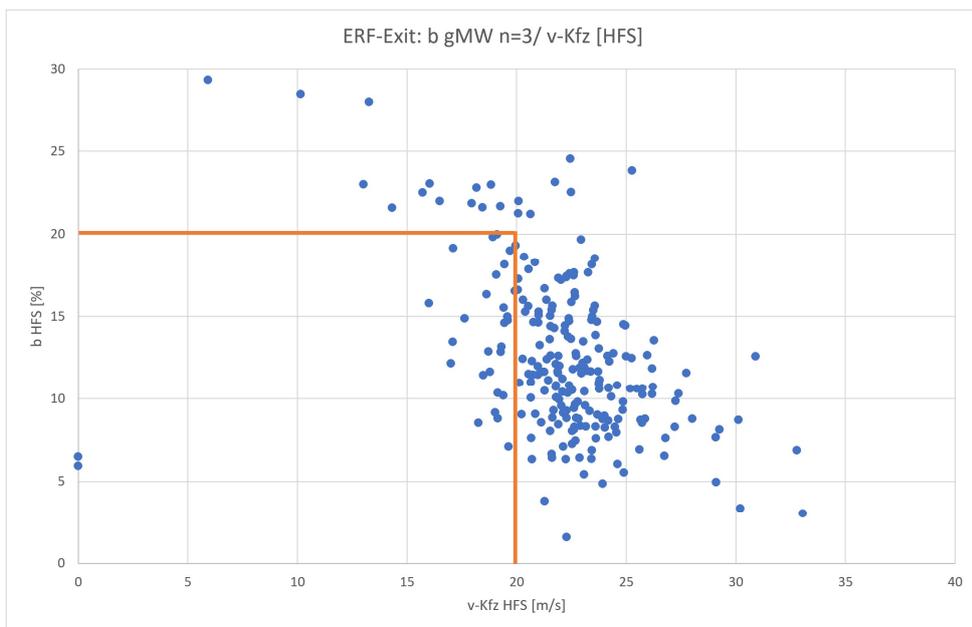
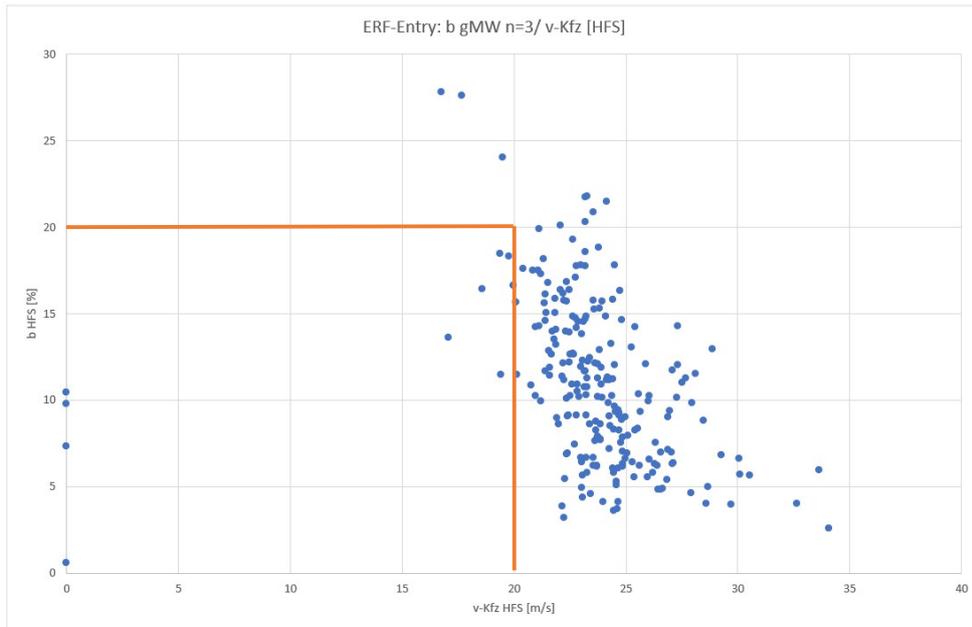
- Eingeschränkter Umfang Analysematerial von nur ca. 1 Std
- Schwerpunkte des Fahrstreifenwechsels gleich verteilt im mittleren und letzten Drittel der Einfahrt, sehr wenig Ausweichverkehr nach links vom HFS zum ÜFS1.
- Insgesamt geringe Belastung.

Fazit zur Analyse ZRA:

- Mangels Pulkbildung in der Zufahrt und tendentiell geringer Belastung keine Ausrüstung mit einer ZRA zweckmäßig erscheinend (im kleinen Zeitfenster der Analyse).

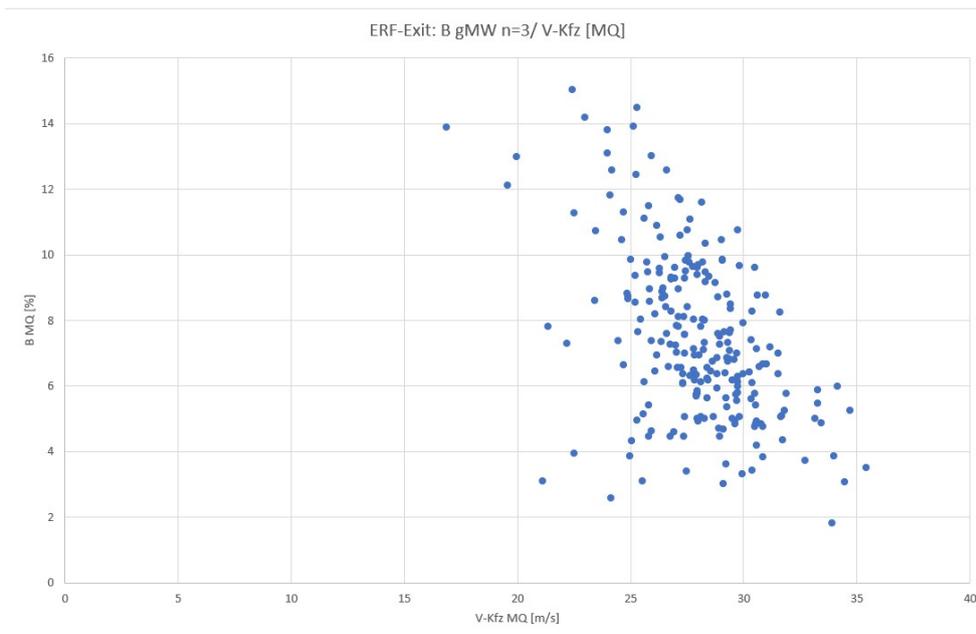
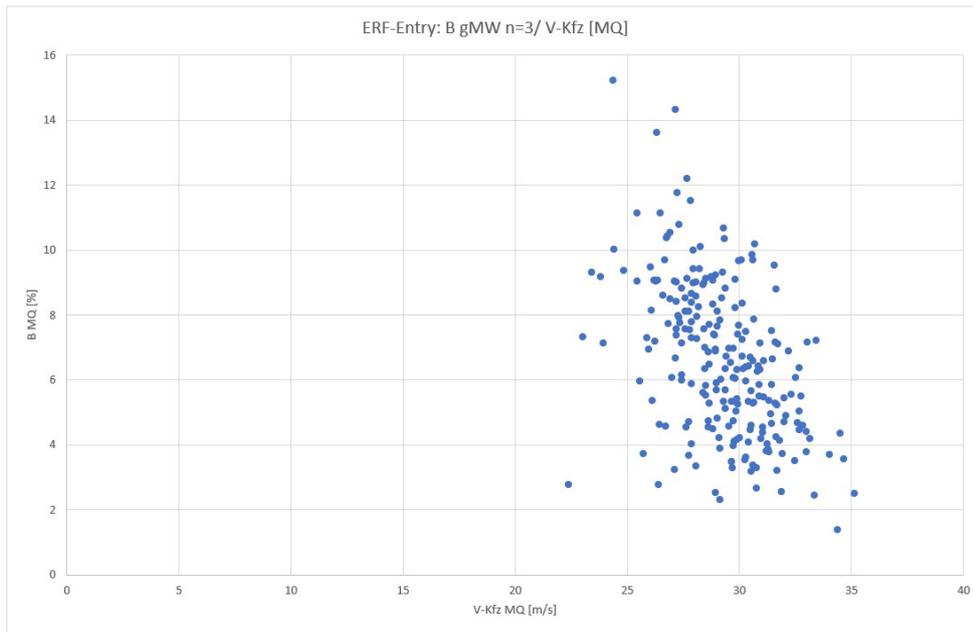
1.) Lokale Verkehrsdaten für Entry, Exit und Ramp (Intervall 15s)

Analyse Belegung über Kfz-Geschwindigkeit der HFS Entry und Exit:



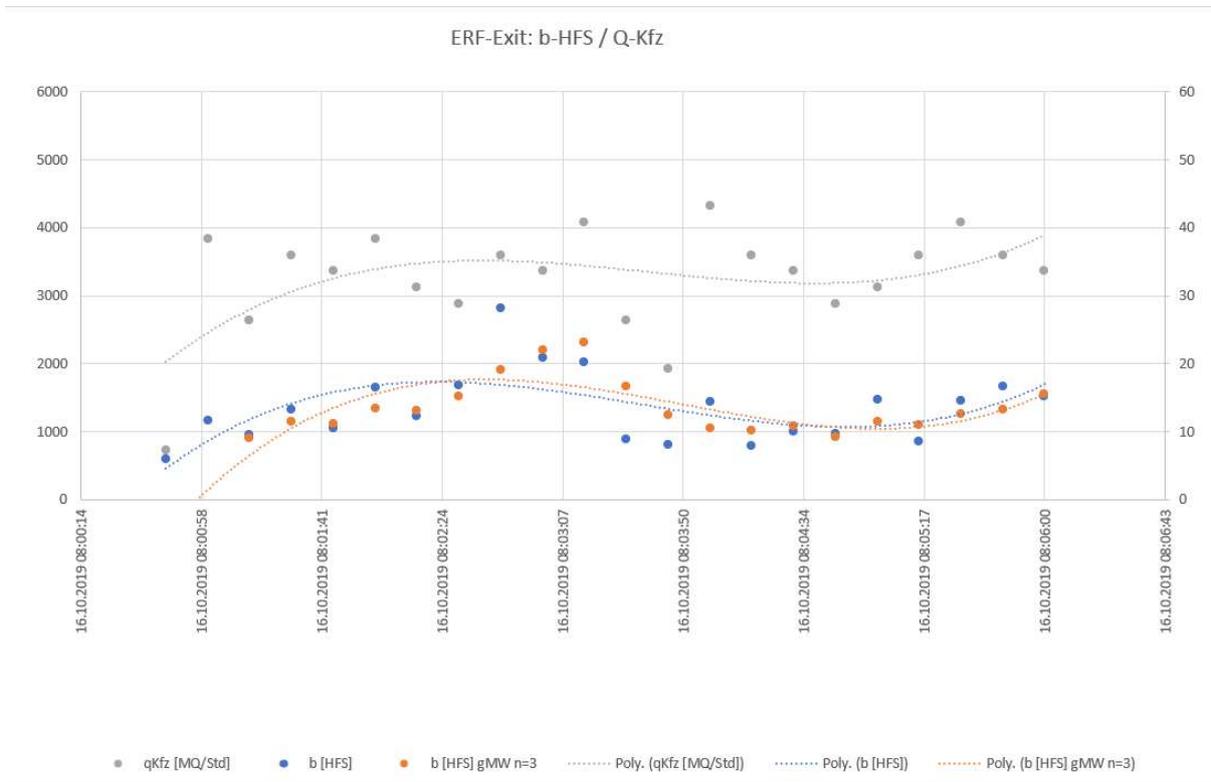
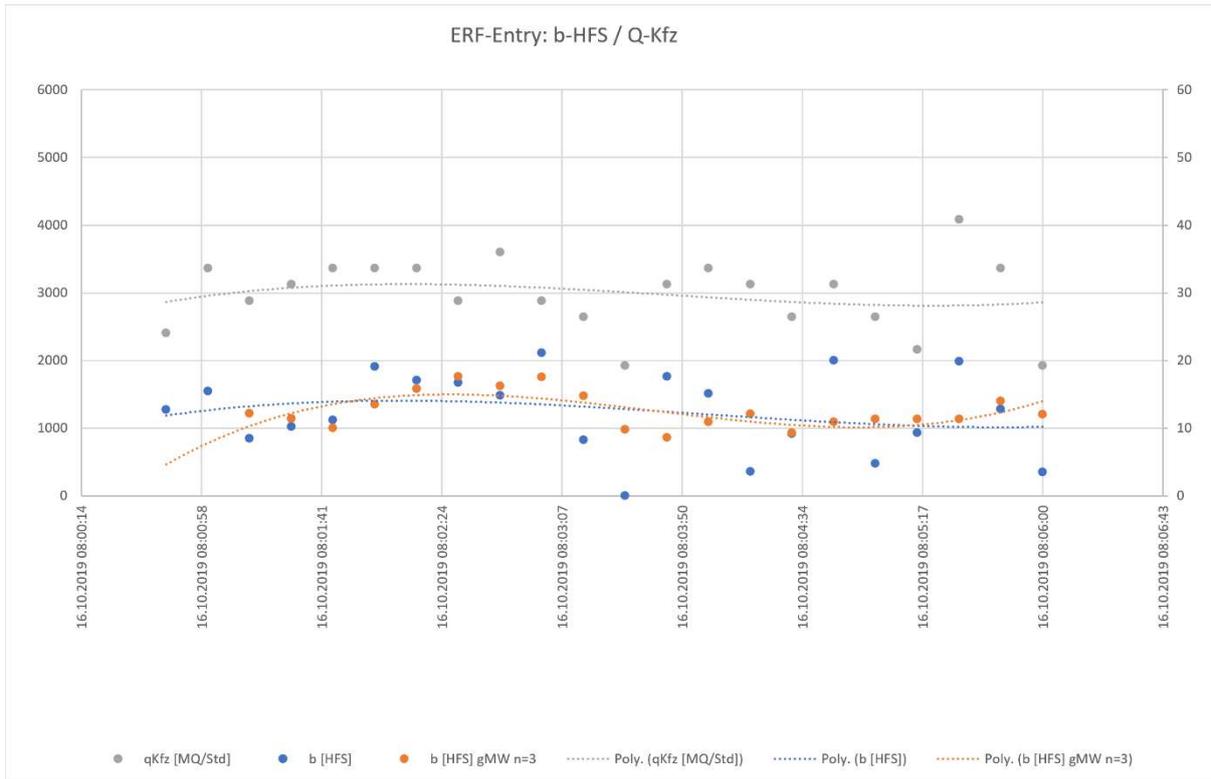
Teilfazit: Bis max. b_{HFS} 20% ist ein stabiler Verkehrsfluss auf dem HFS im Bereich MQ Exit gewährleistet, dies kann für ein b_{opt} nach Alinea-Algorithmus „NRW“ gewählt werden.

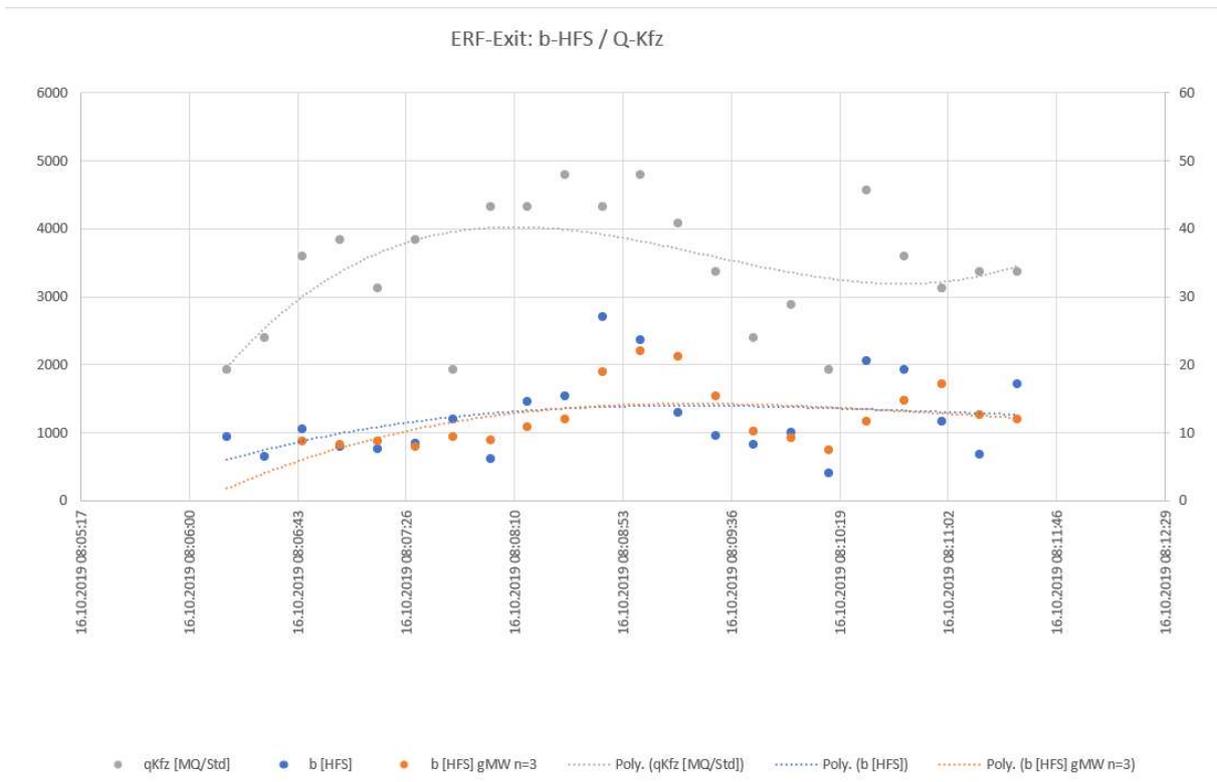
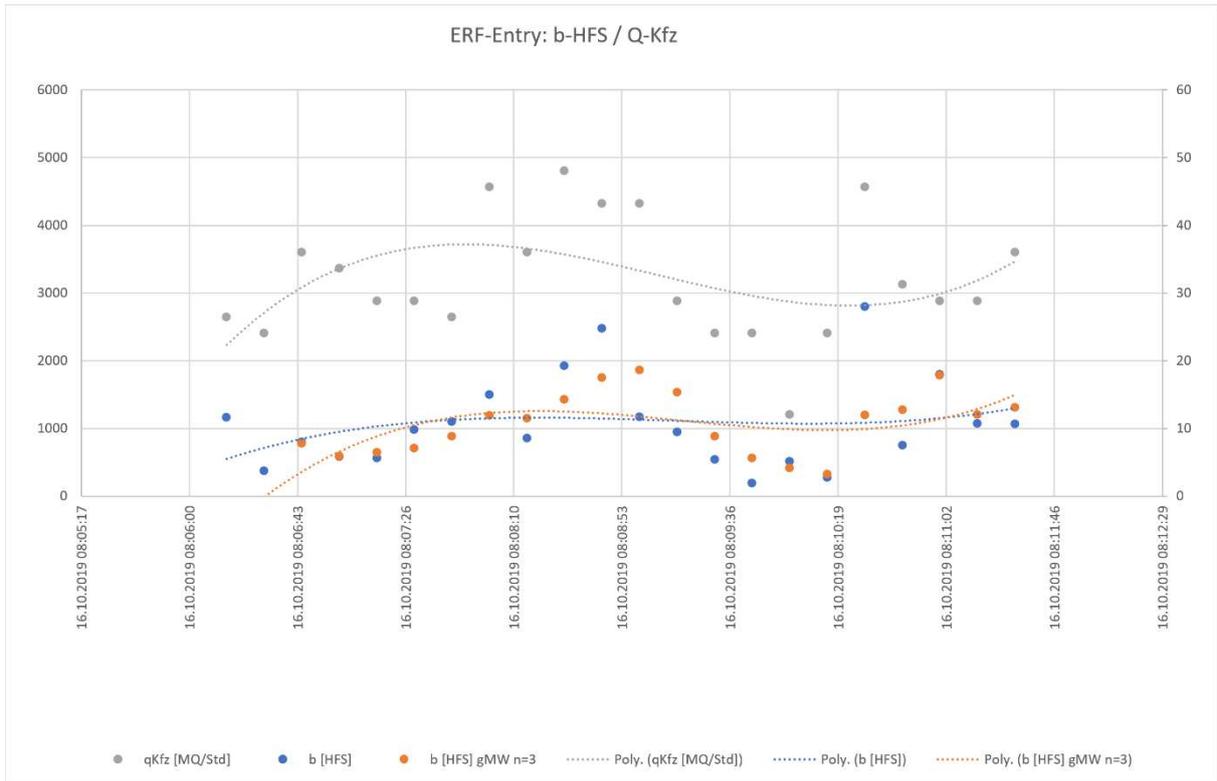
Analyse Belegung über Kfz-Geschwindigkeit der MQ (3FS) Entry und Exit:

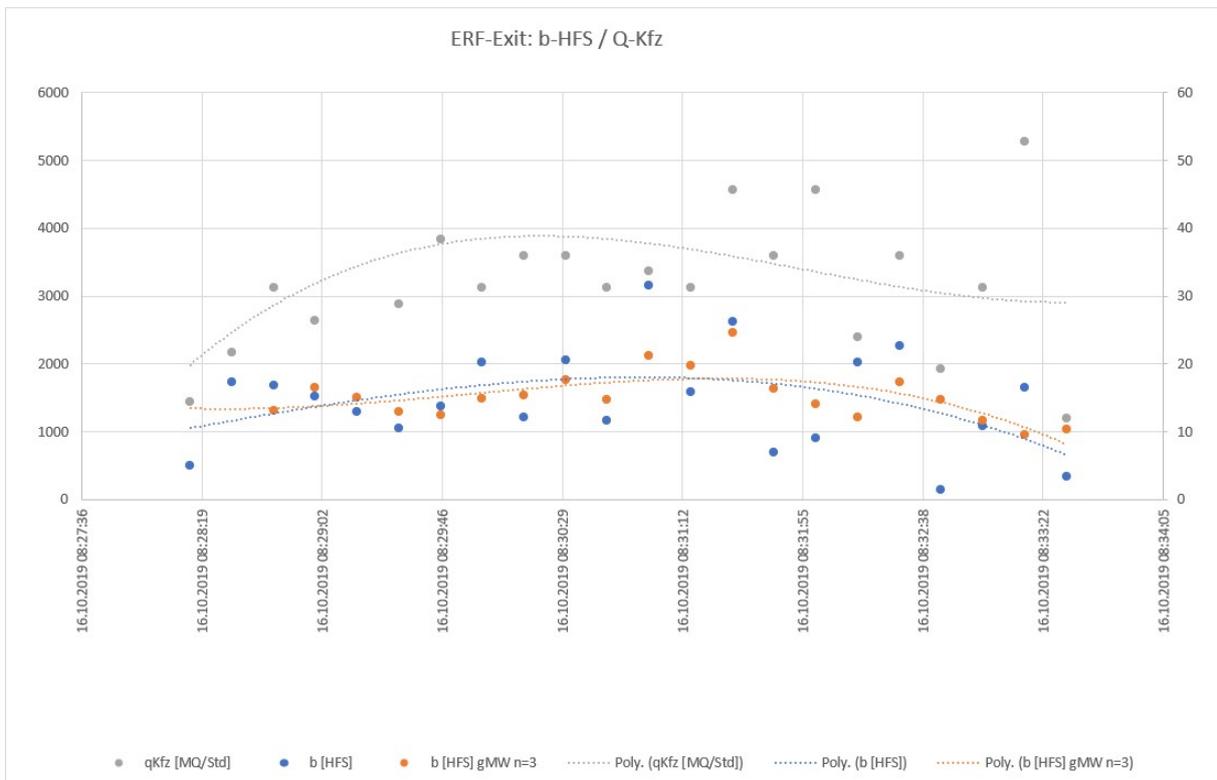
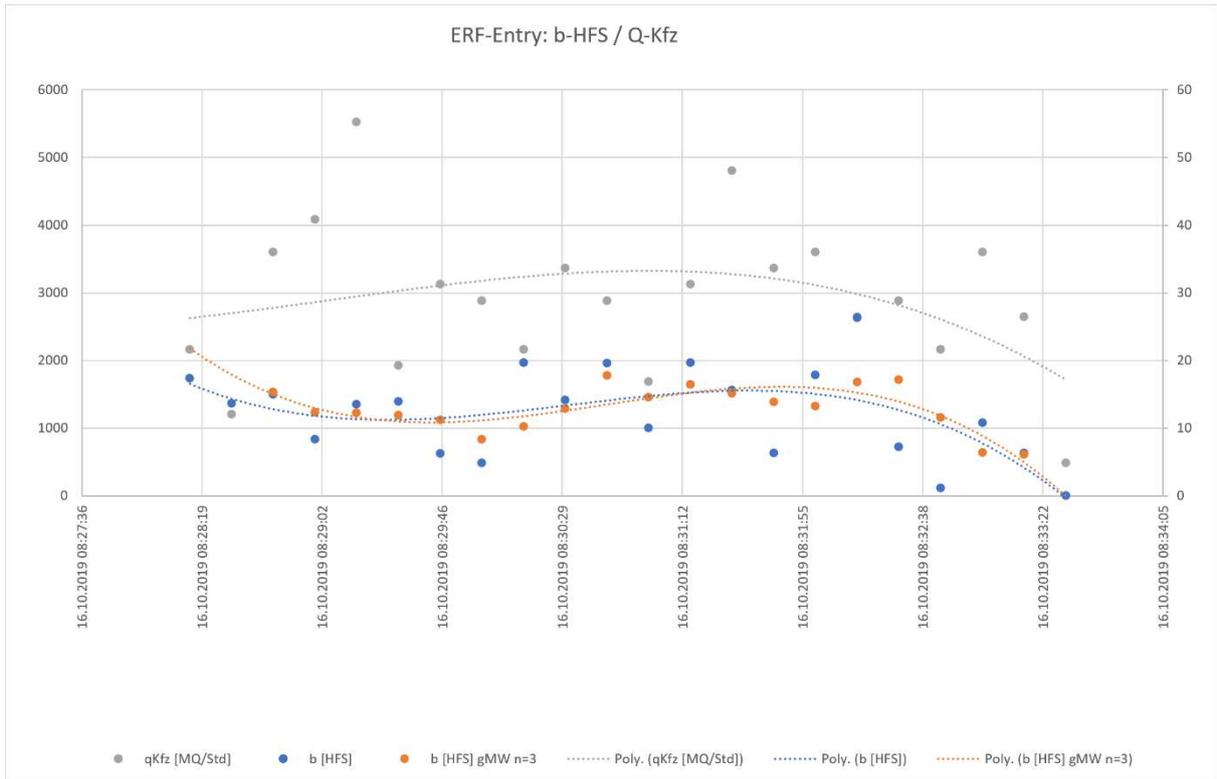


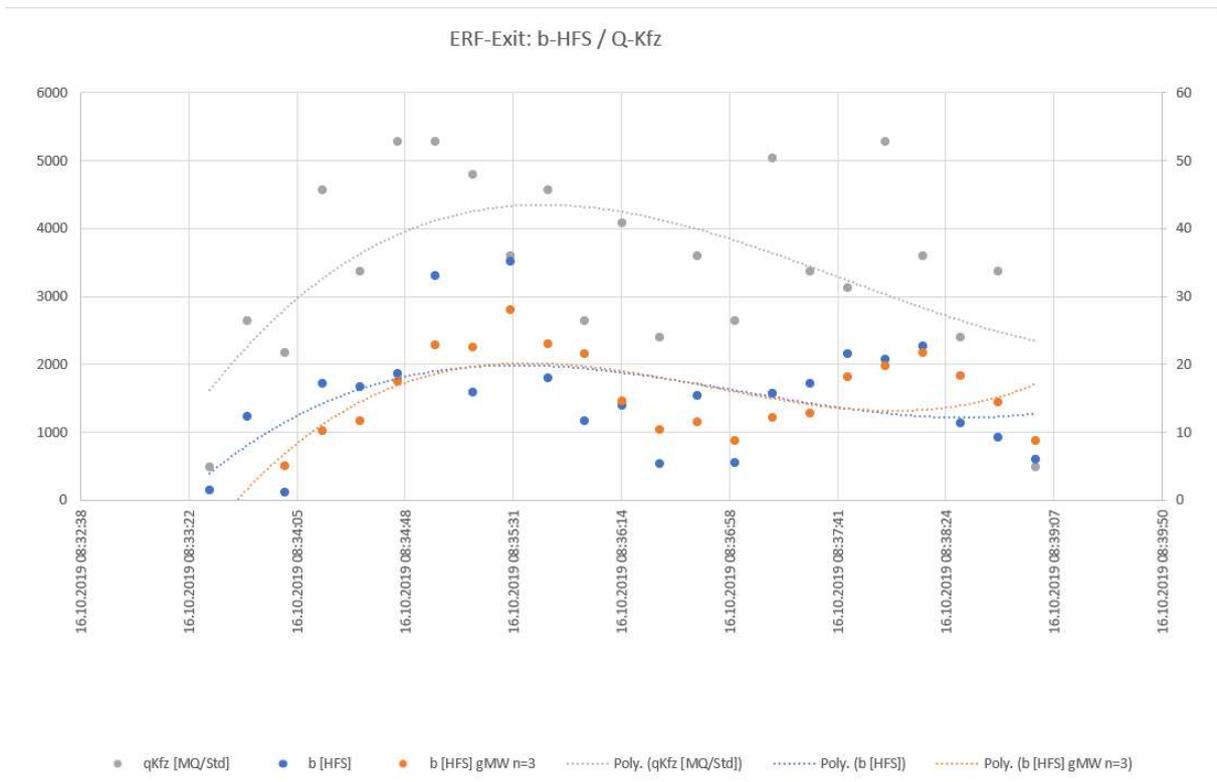
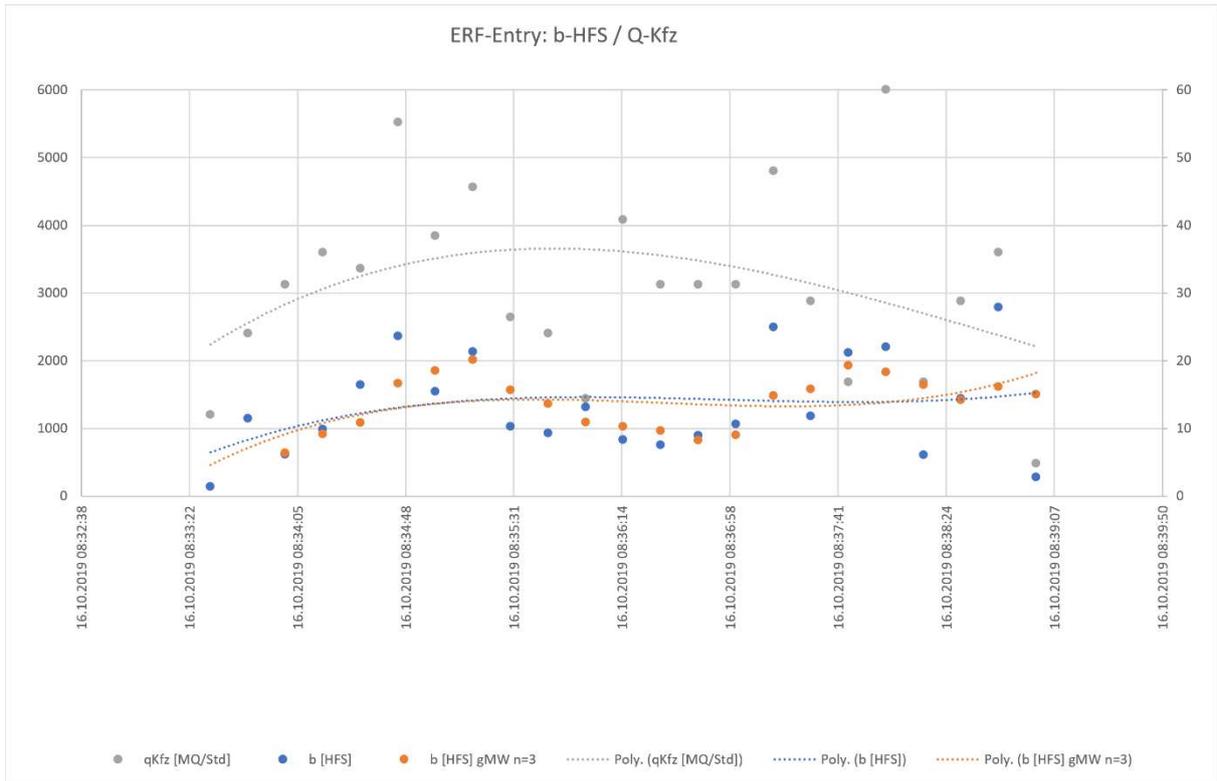
Teilfazit: Die Wahl eines b_{opt} für die Steuerung nach dem MQ anstelle dem HFS ist nicht möglich, da der Einfluss der Überlager der drei Fahrstreifen im MQ-Wert der Belegung keine klare Schwelle der einbrechenden Geschwindigkeiten (Kapazitätsgrenze) erkennen lässt.

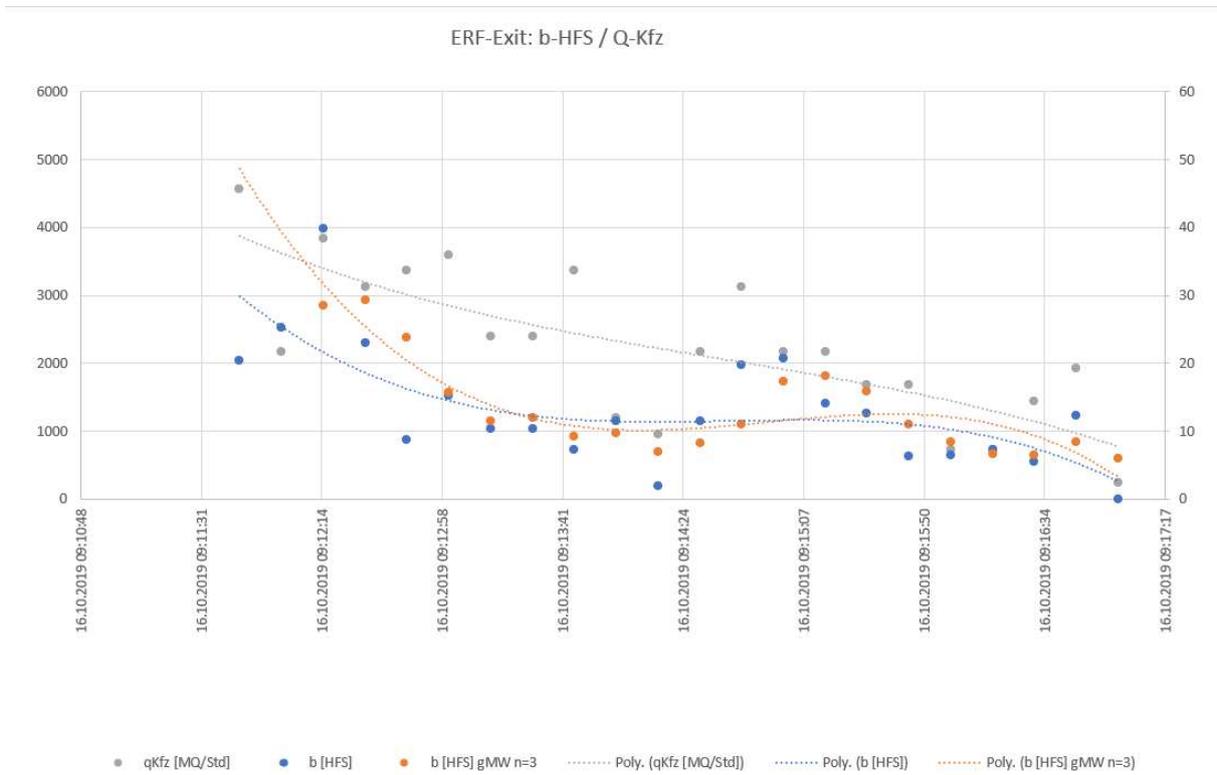
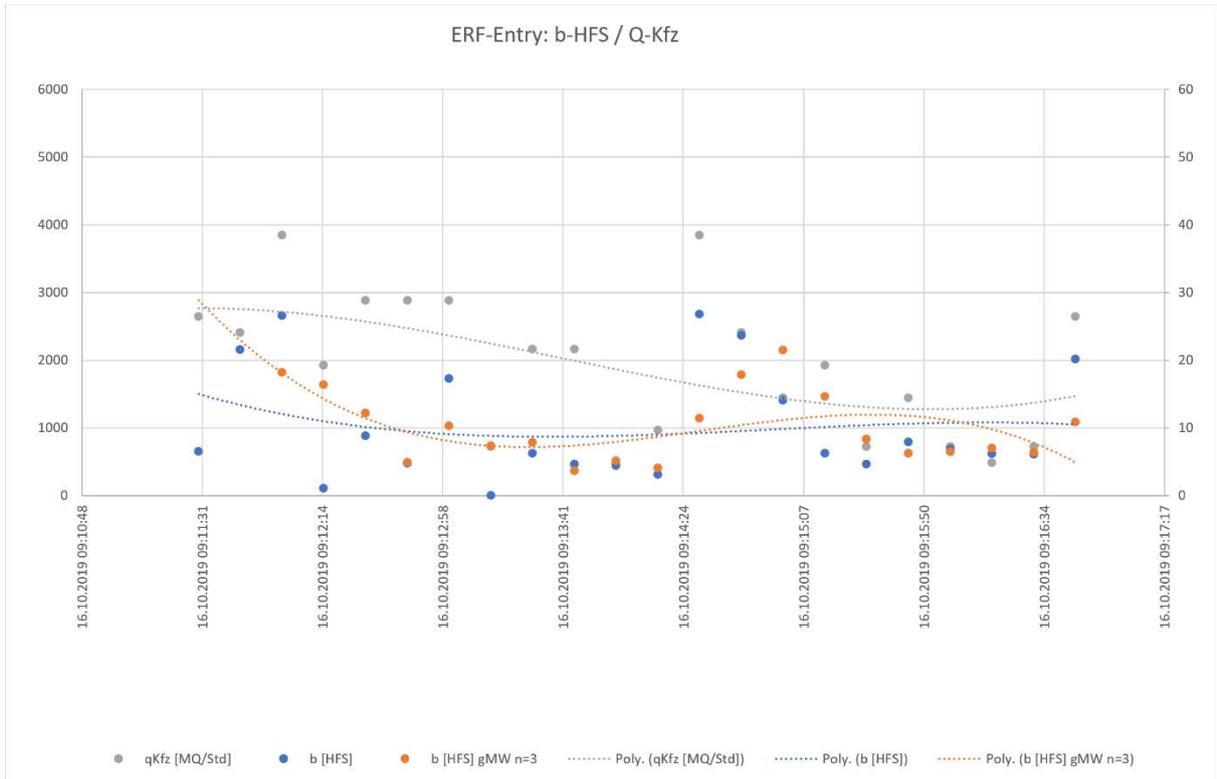
Analyse Ganglinien $q_{Kfz, MQ}$, b_{HFS} und b_{HFS} (gleitender Mittelwert n=3) für Entry und Exit:

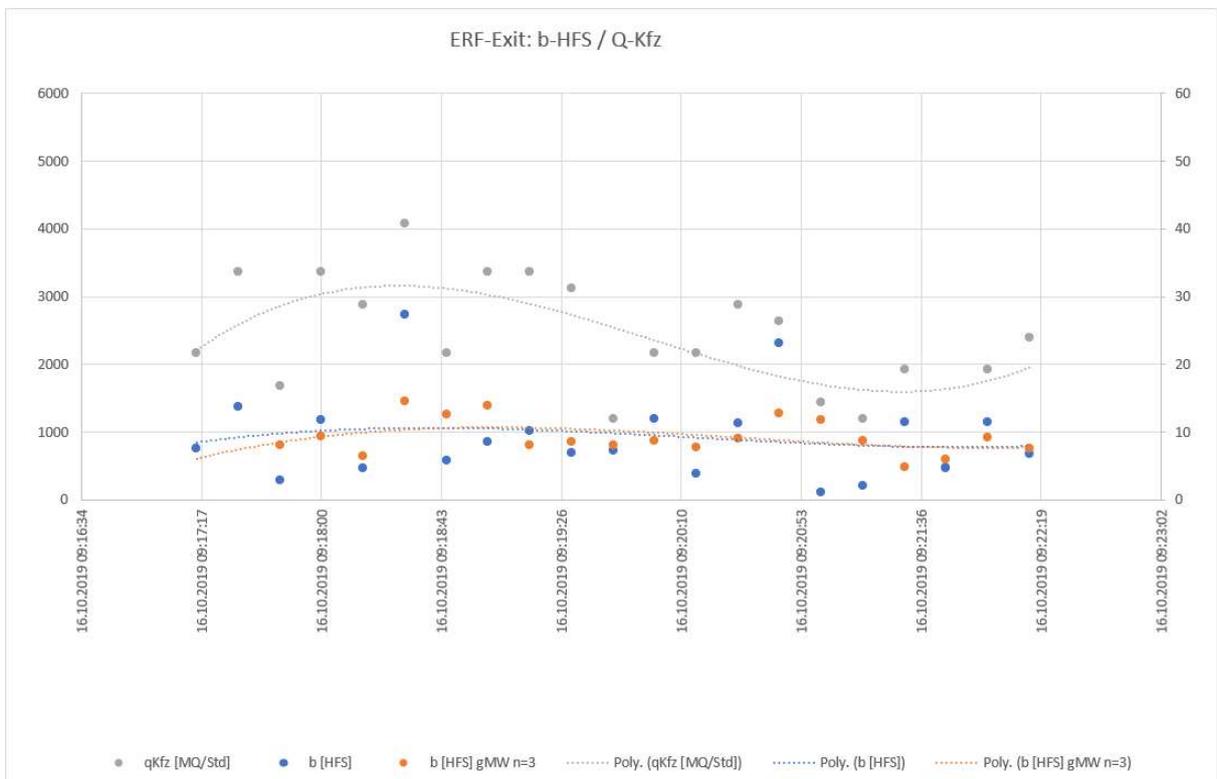
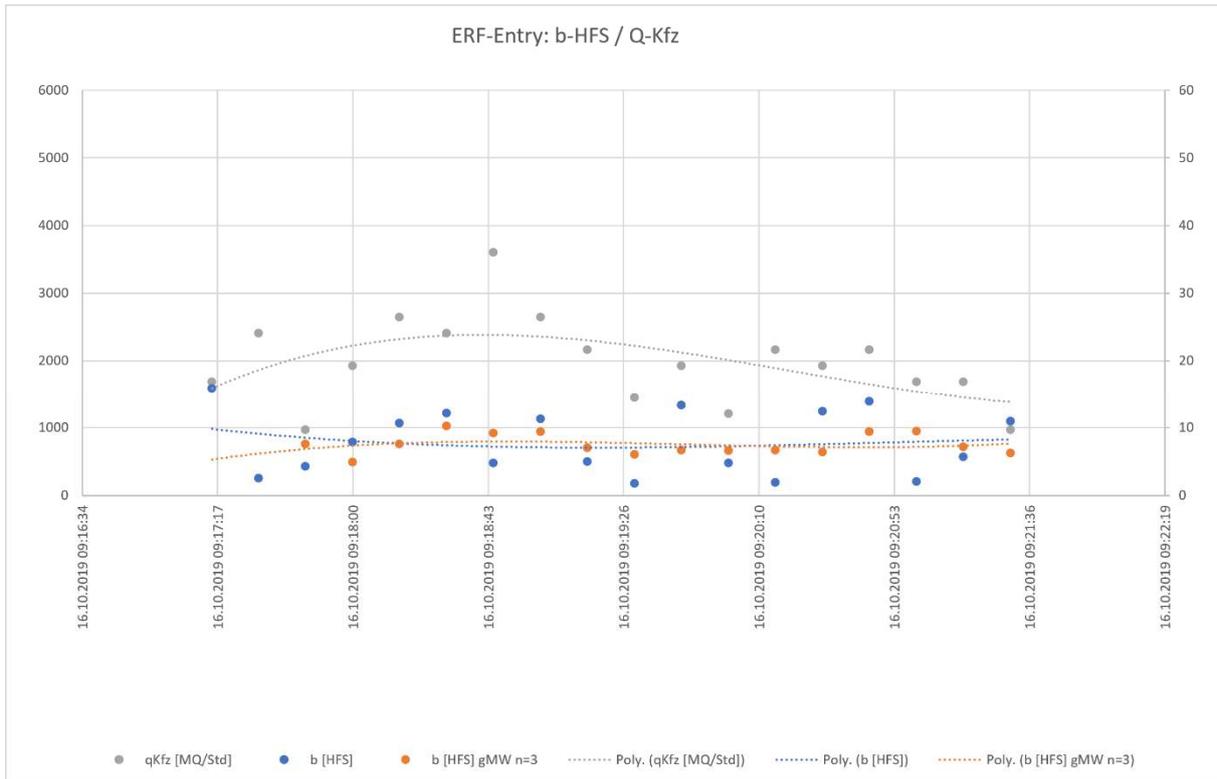


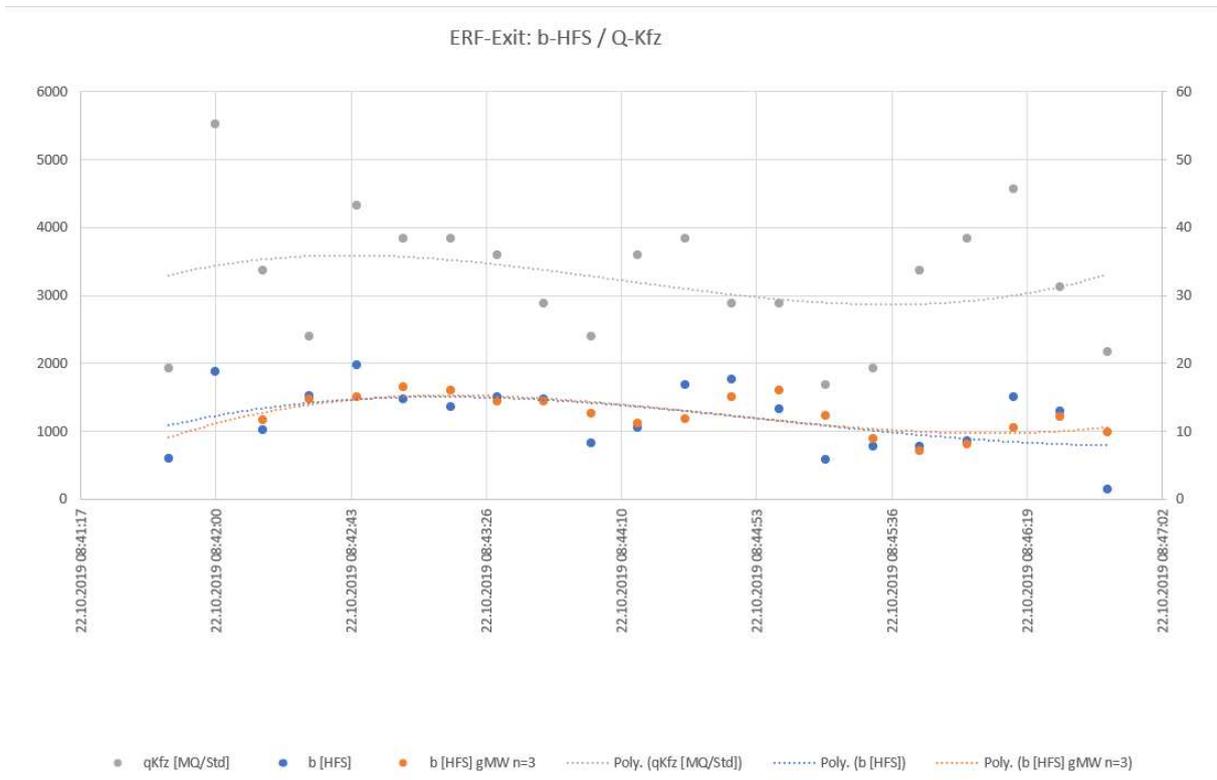
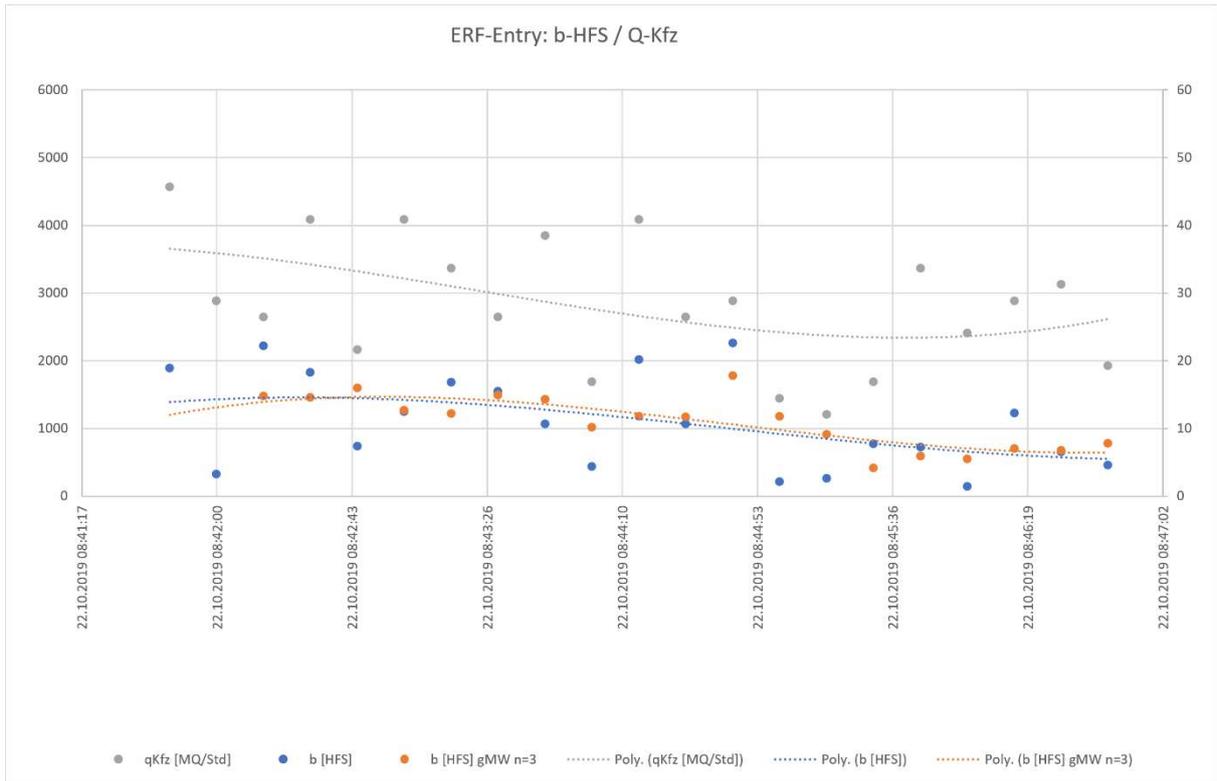


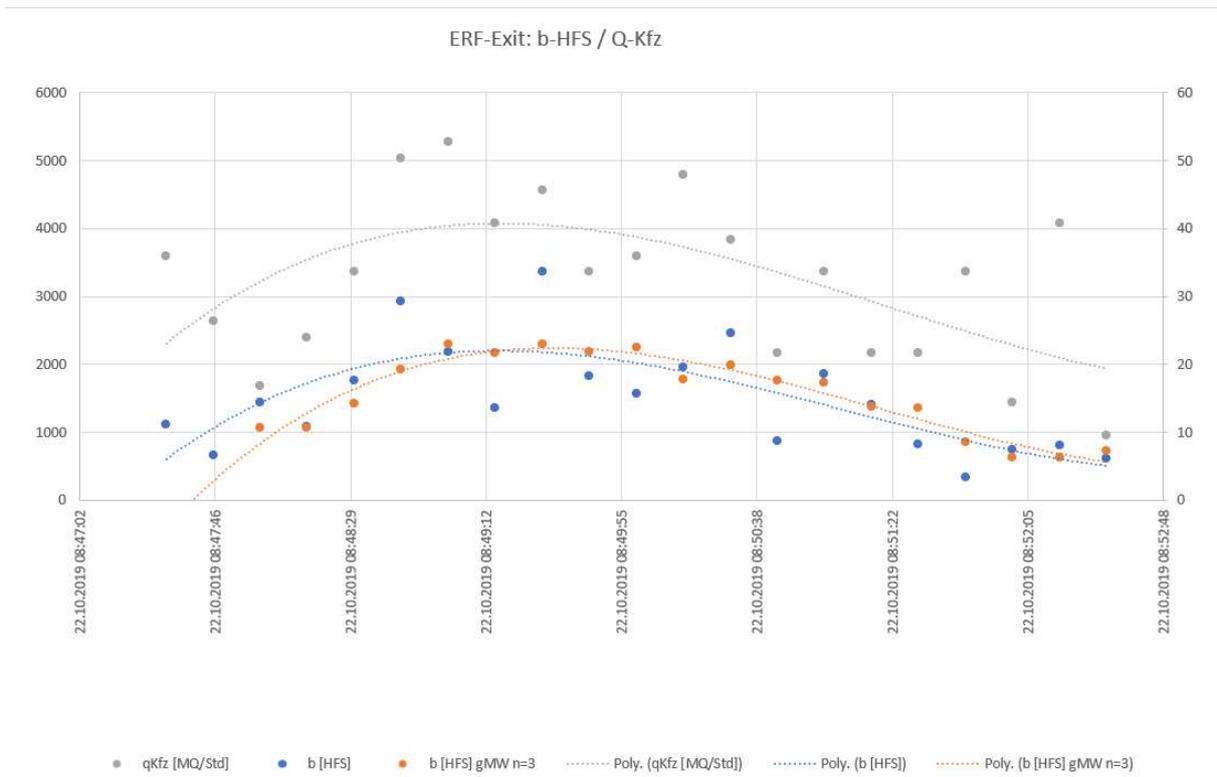
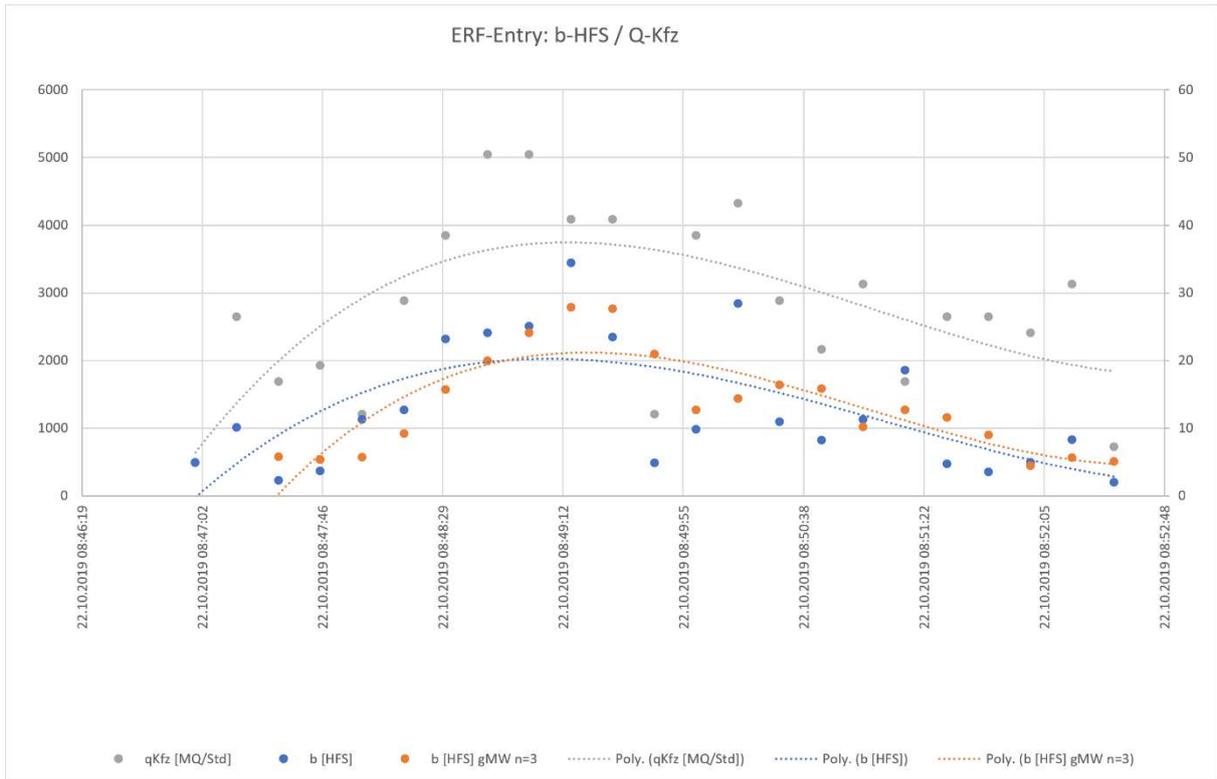


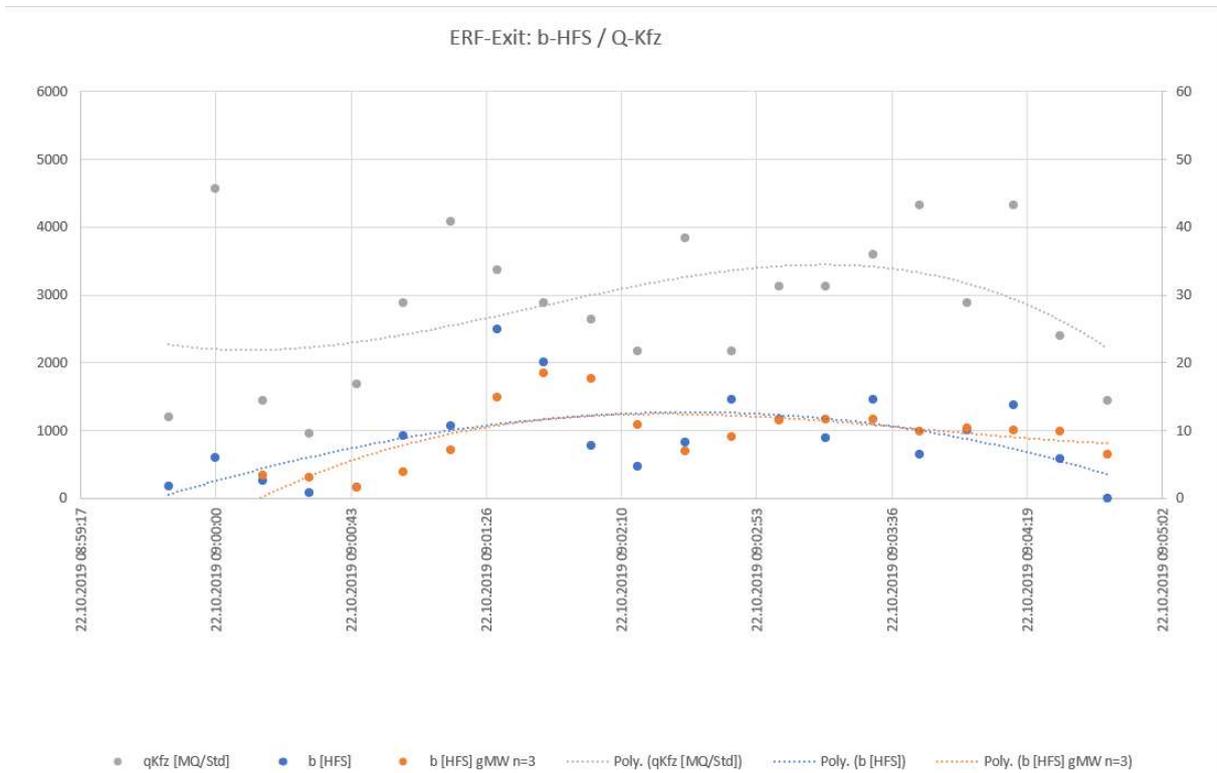
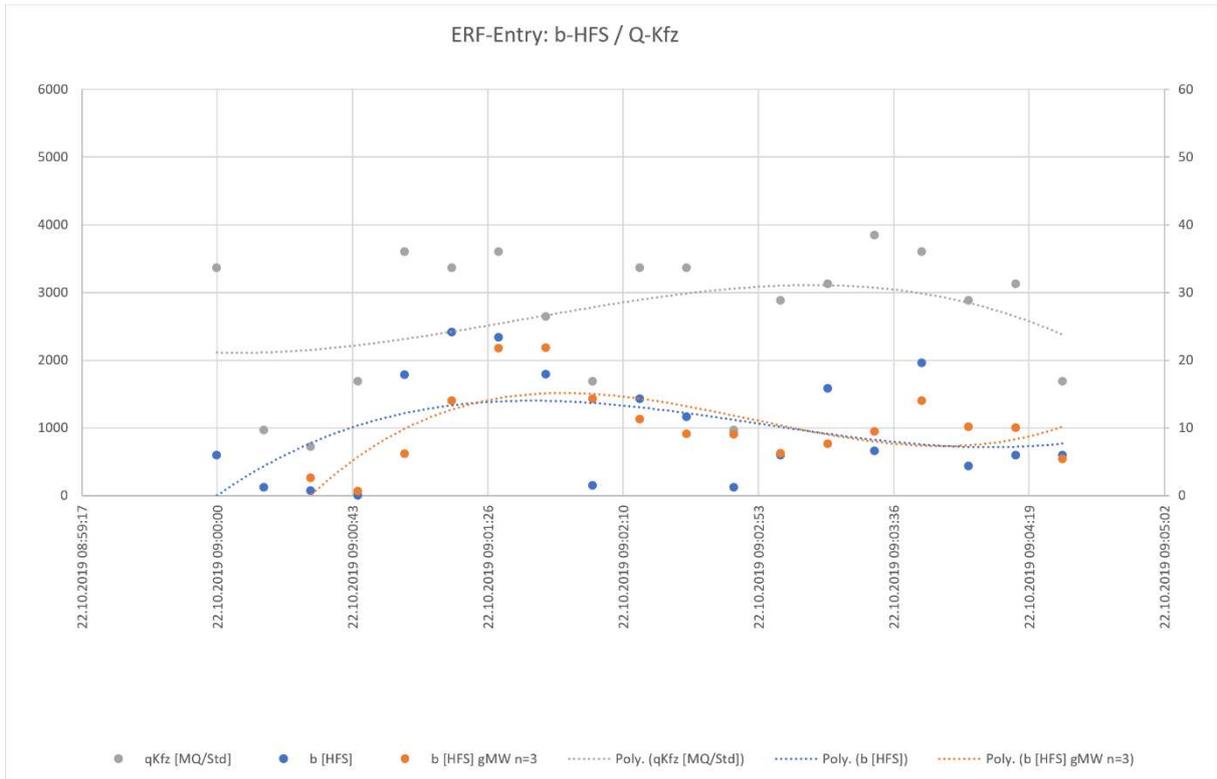


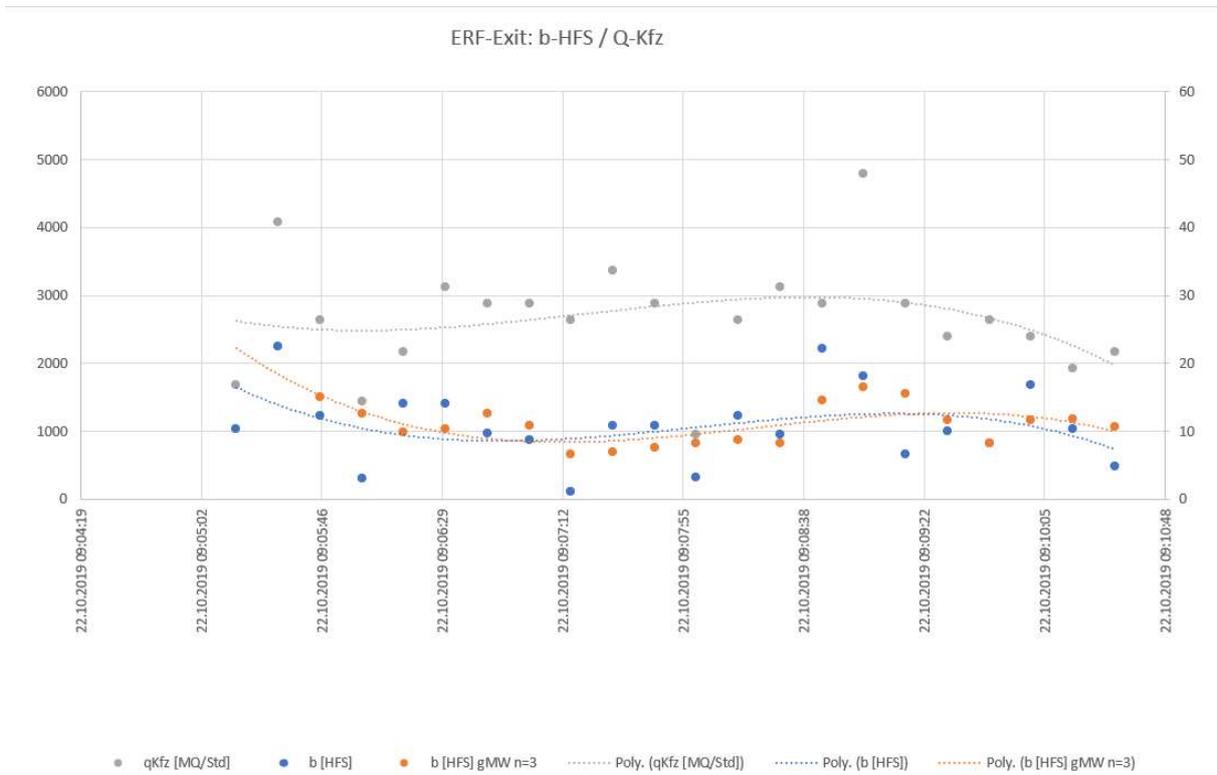
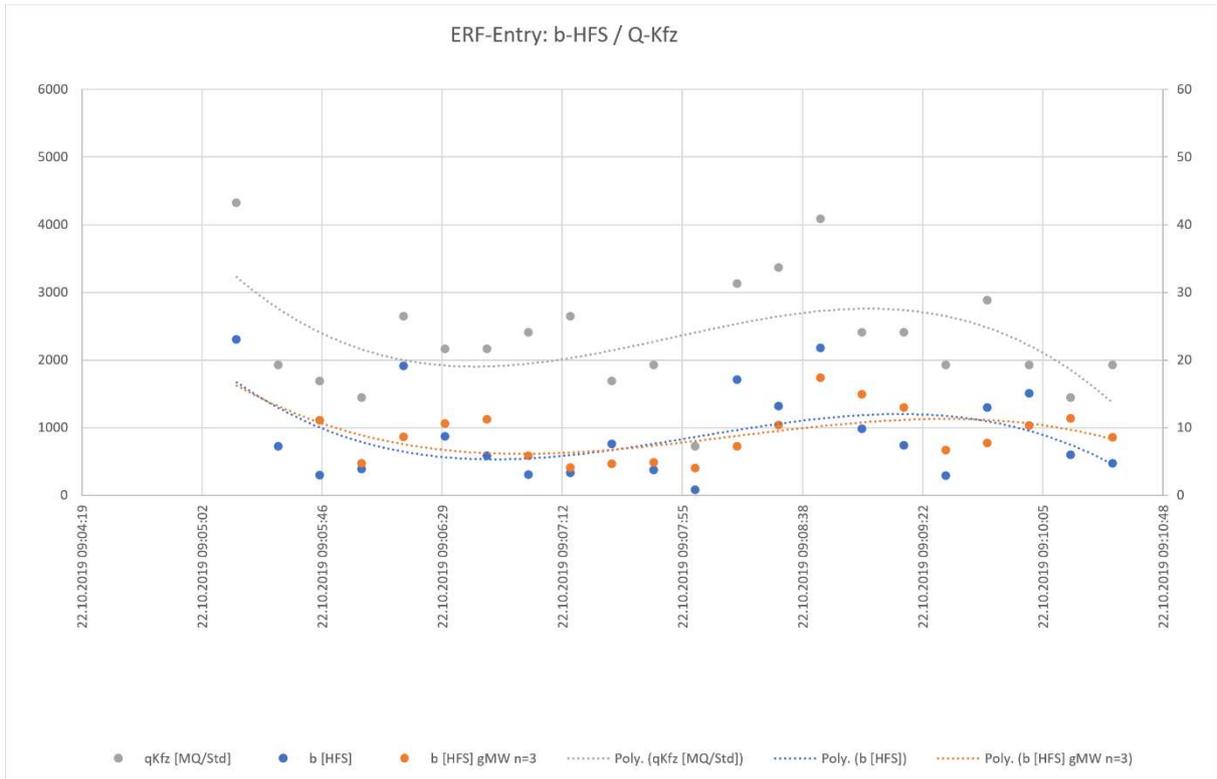


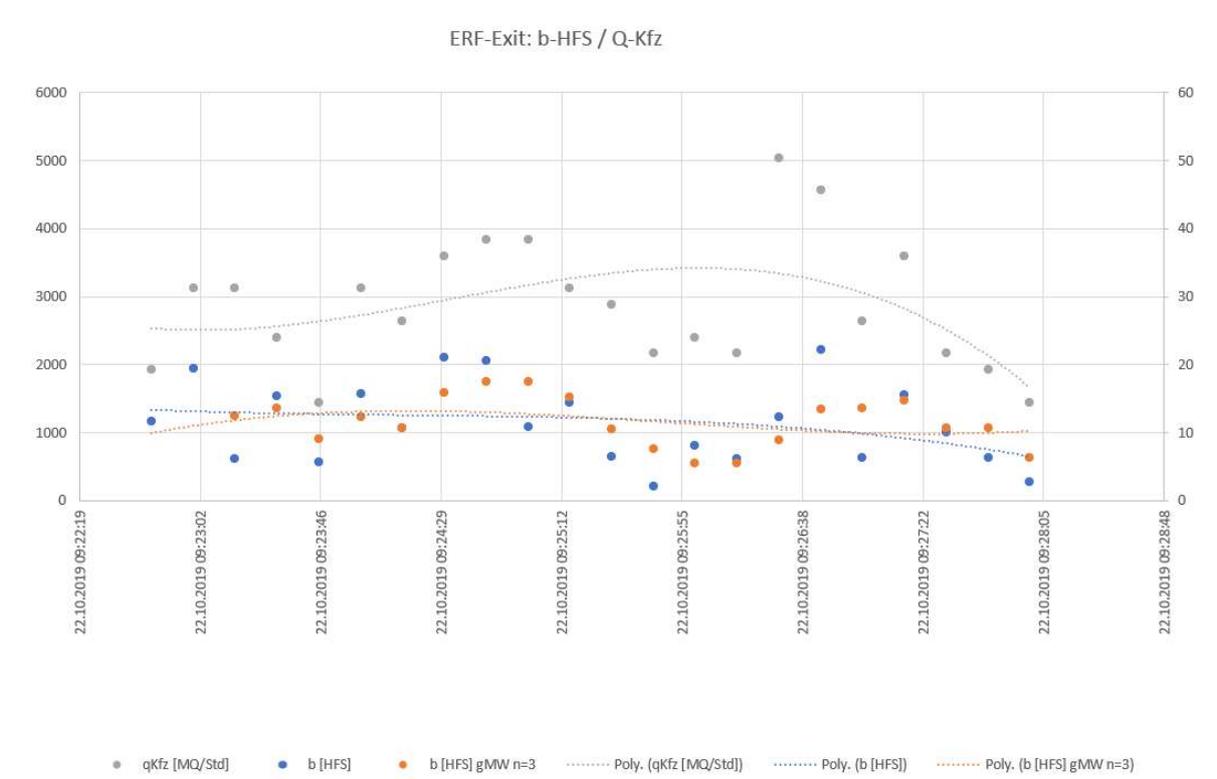
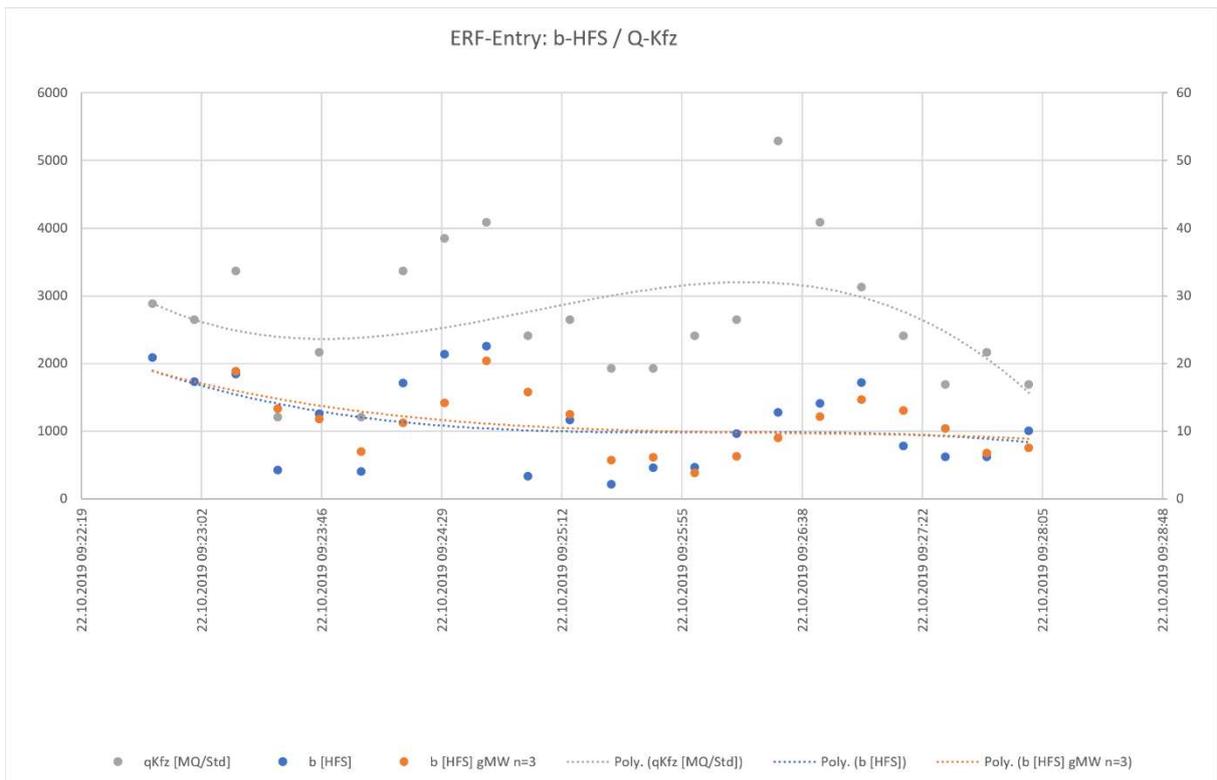


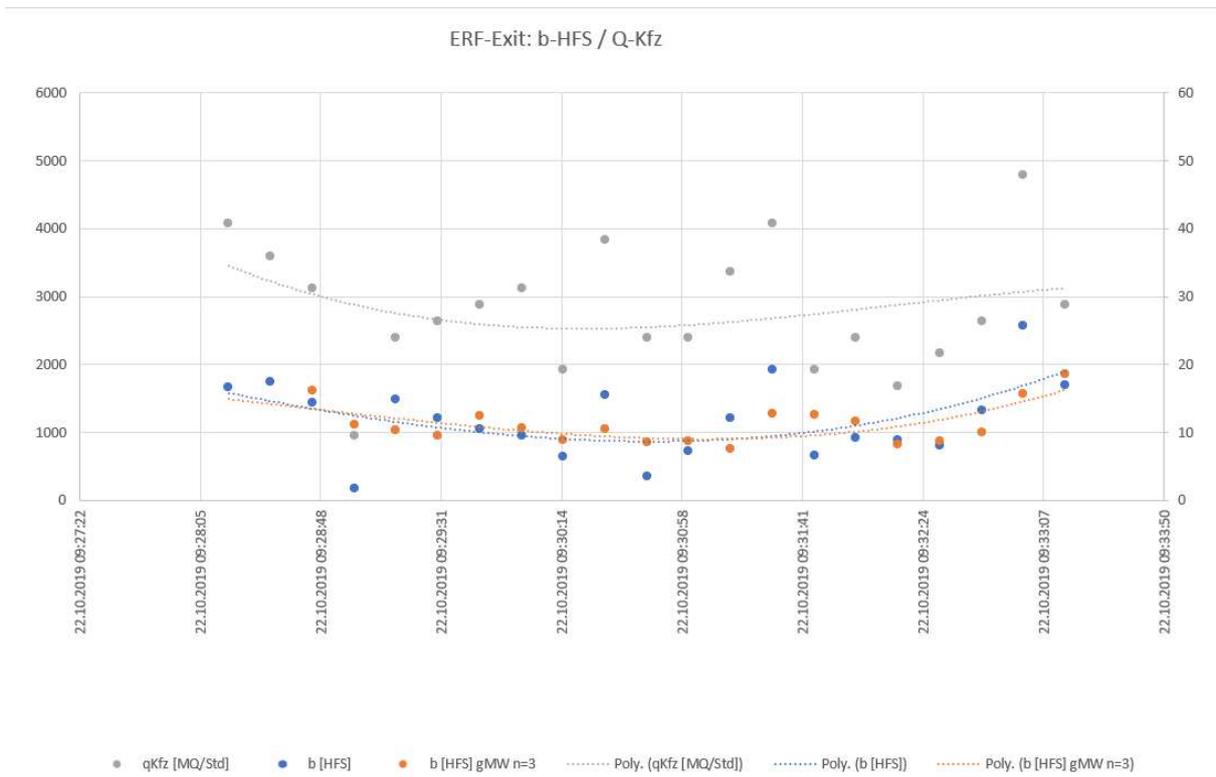
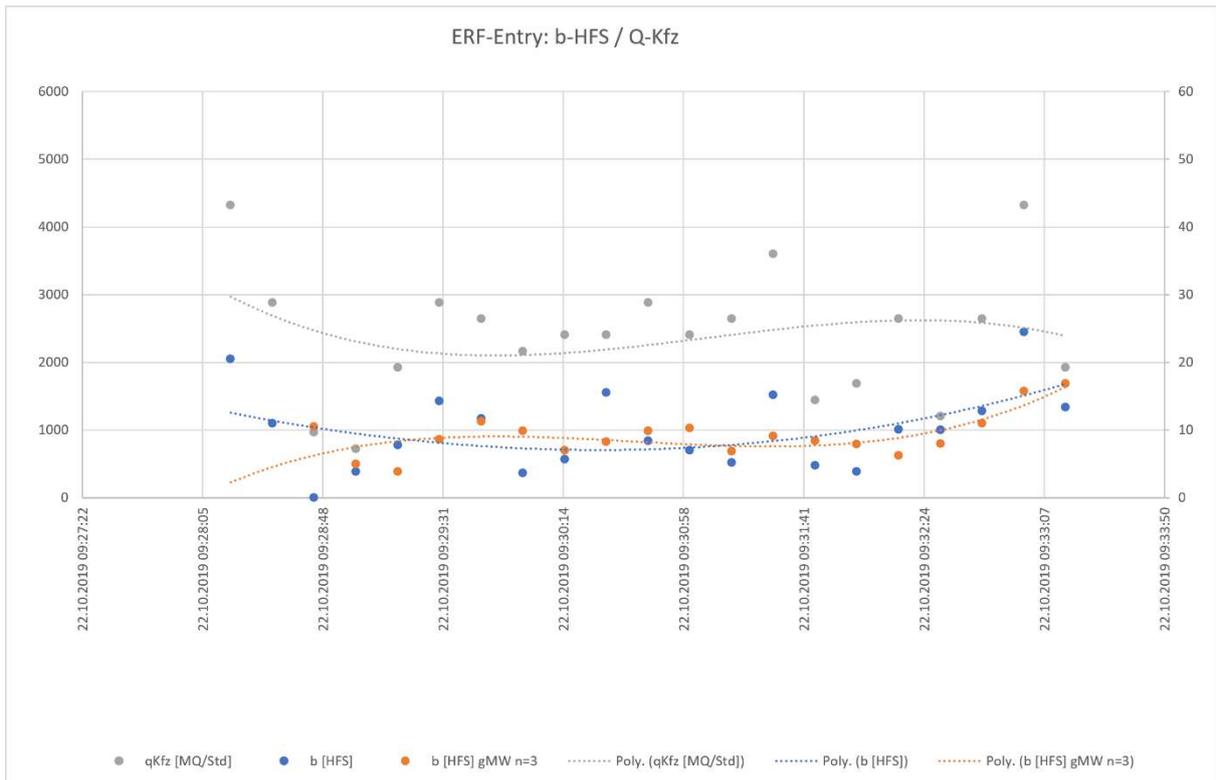






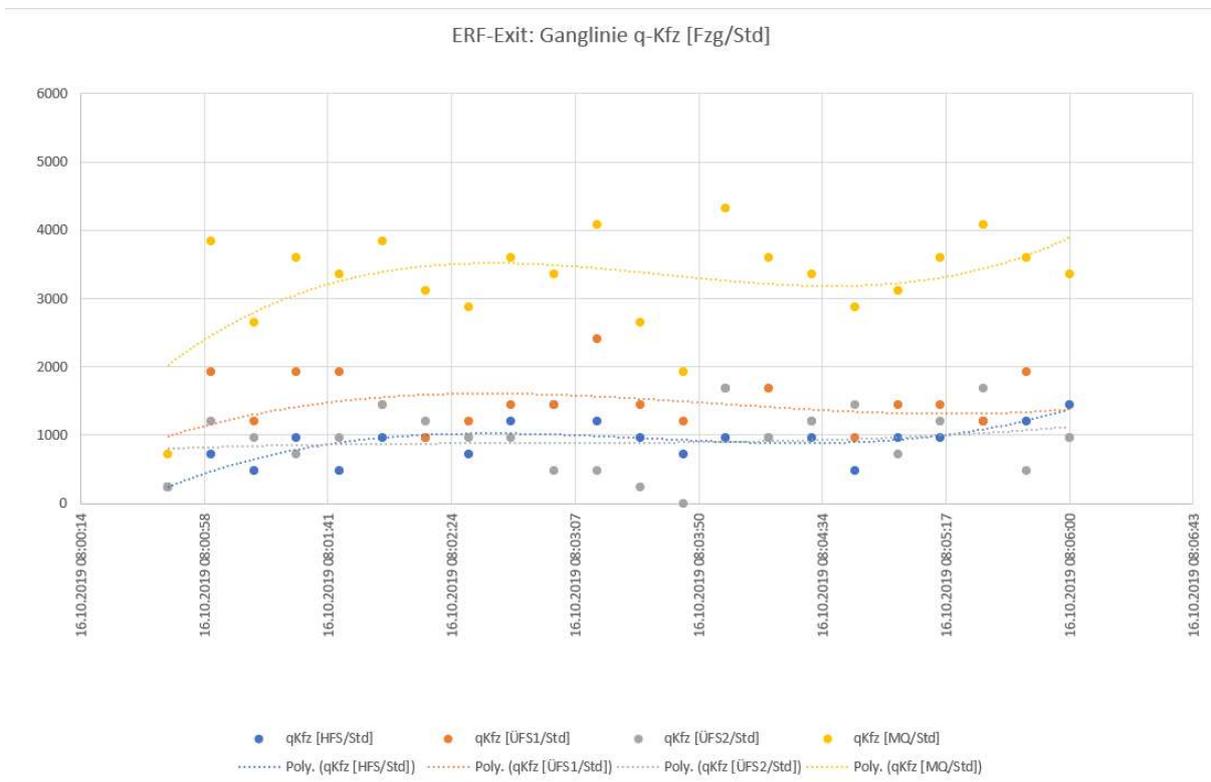
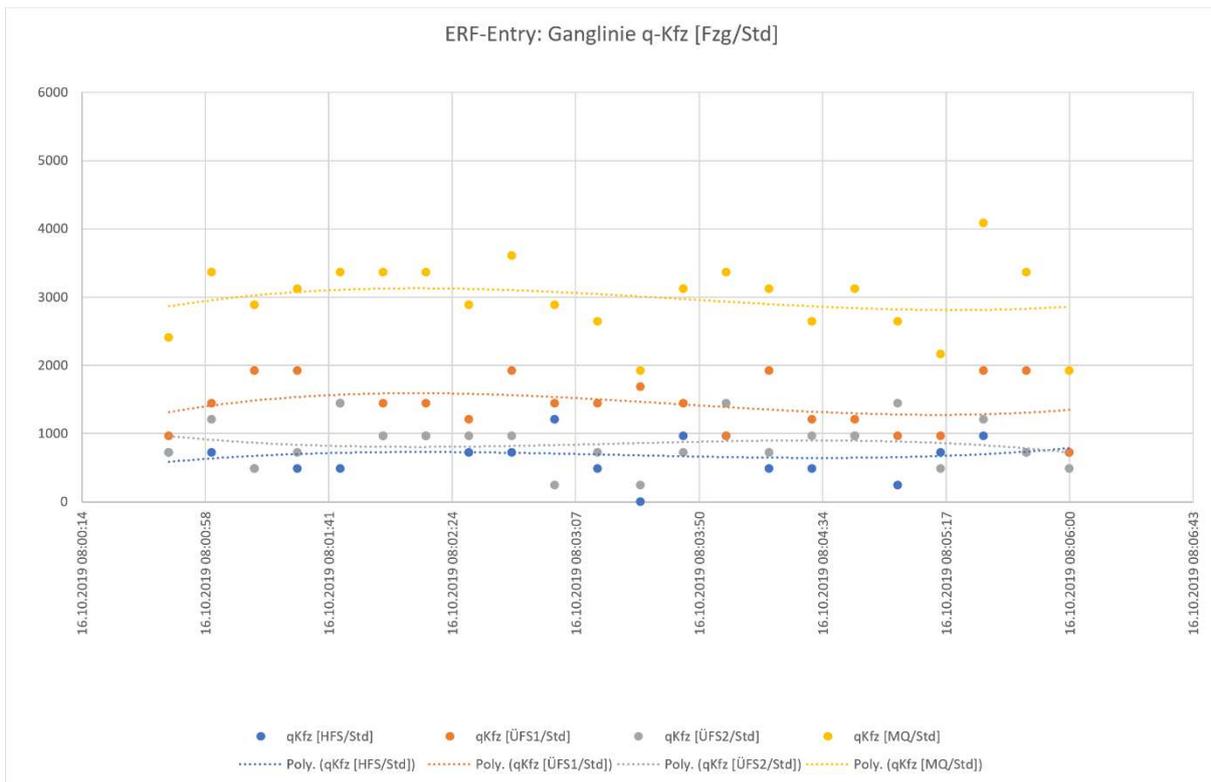


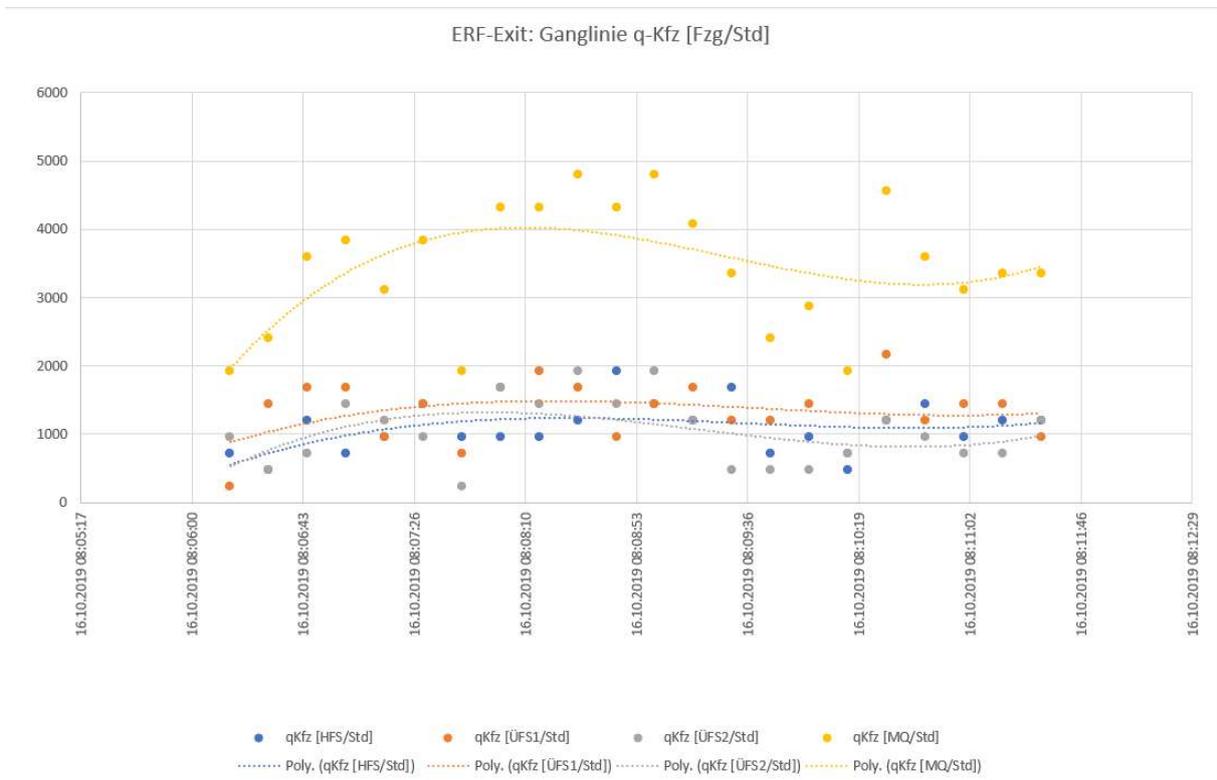
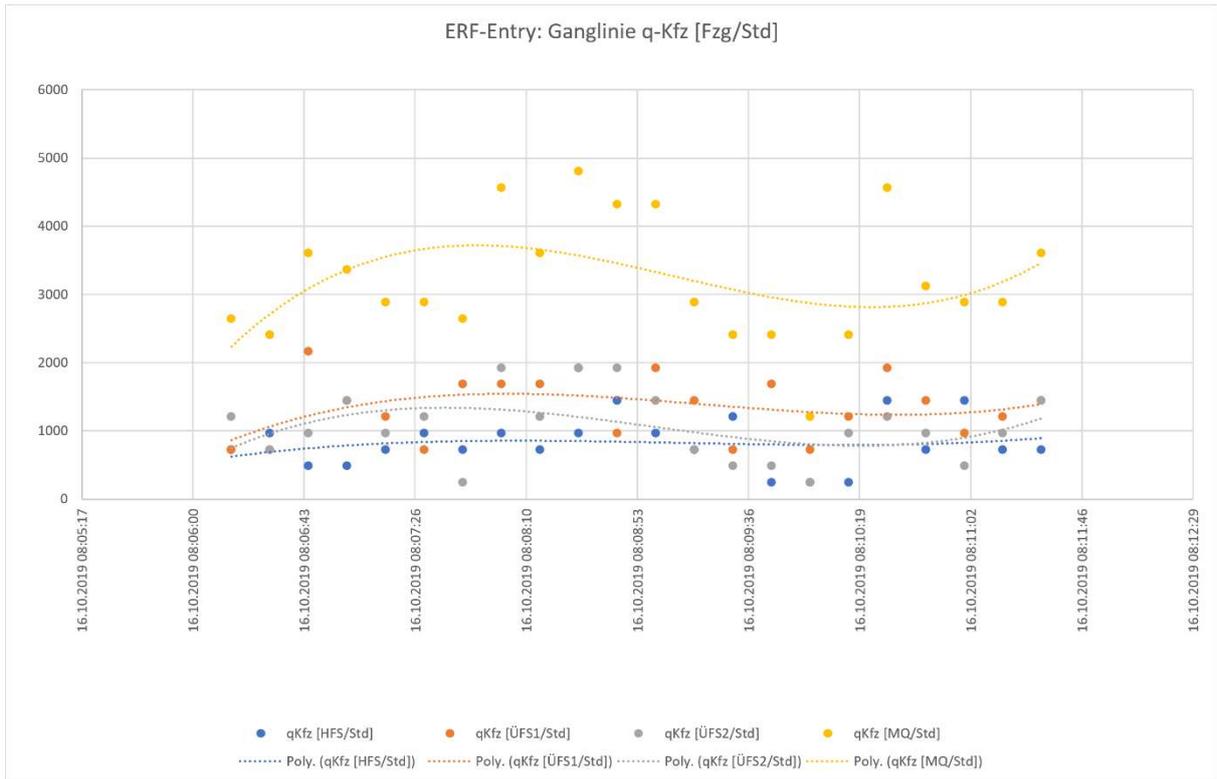


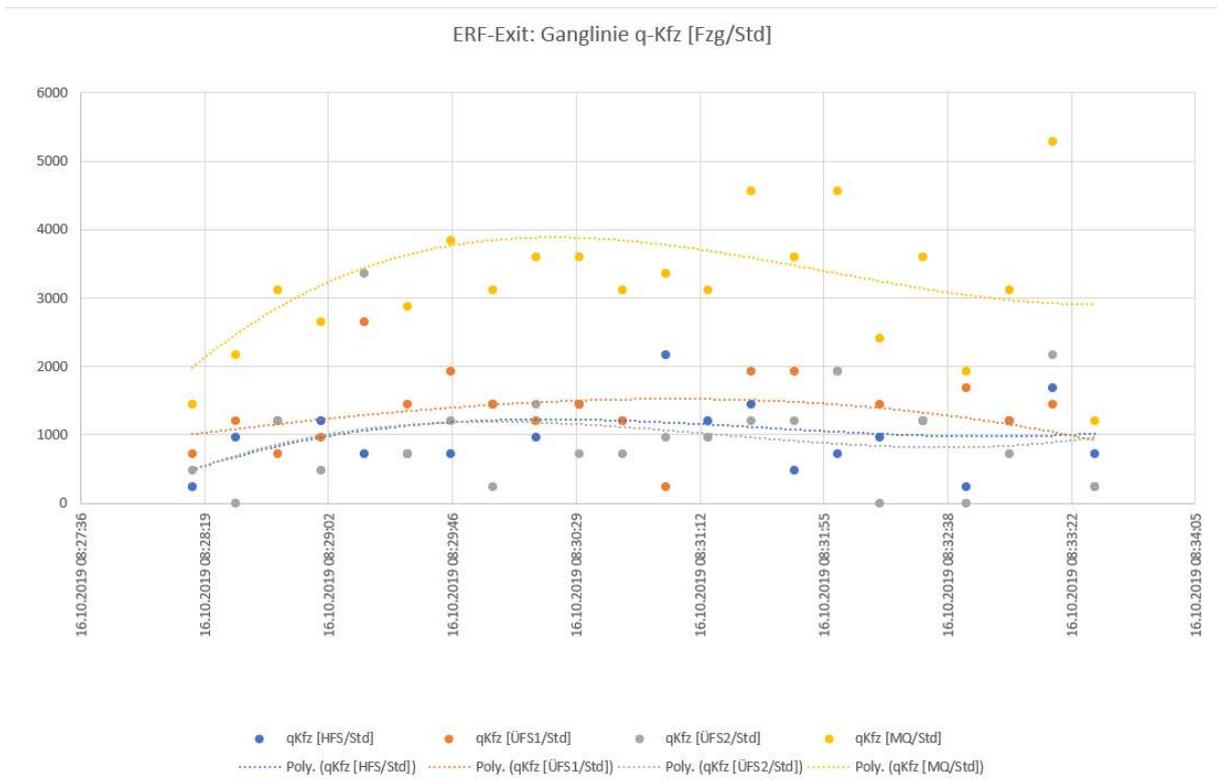
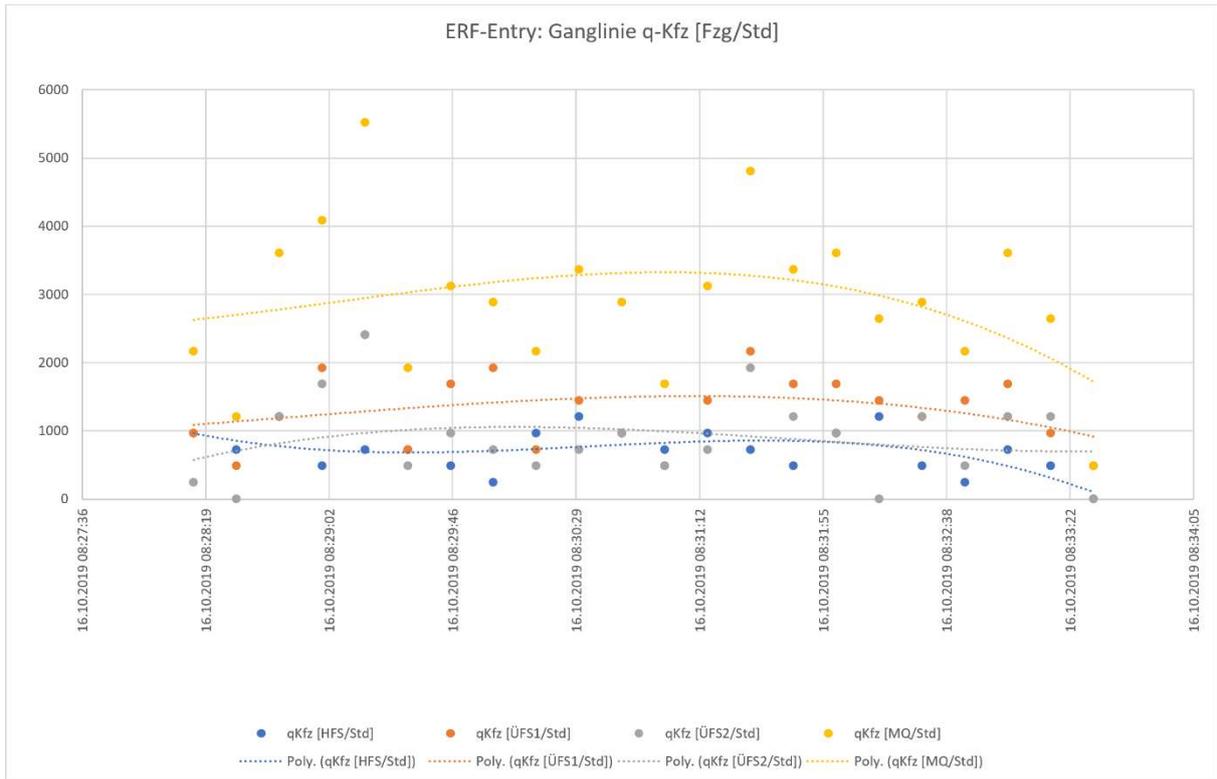


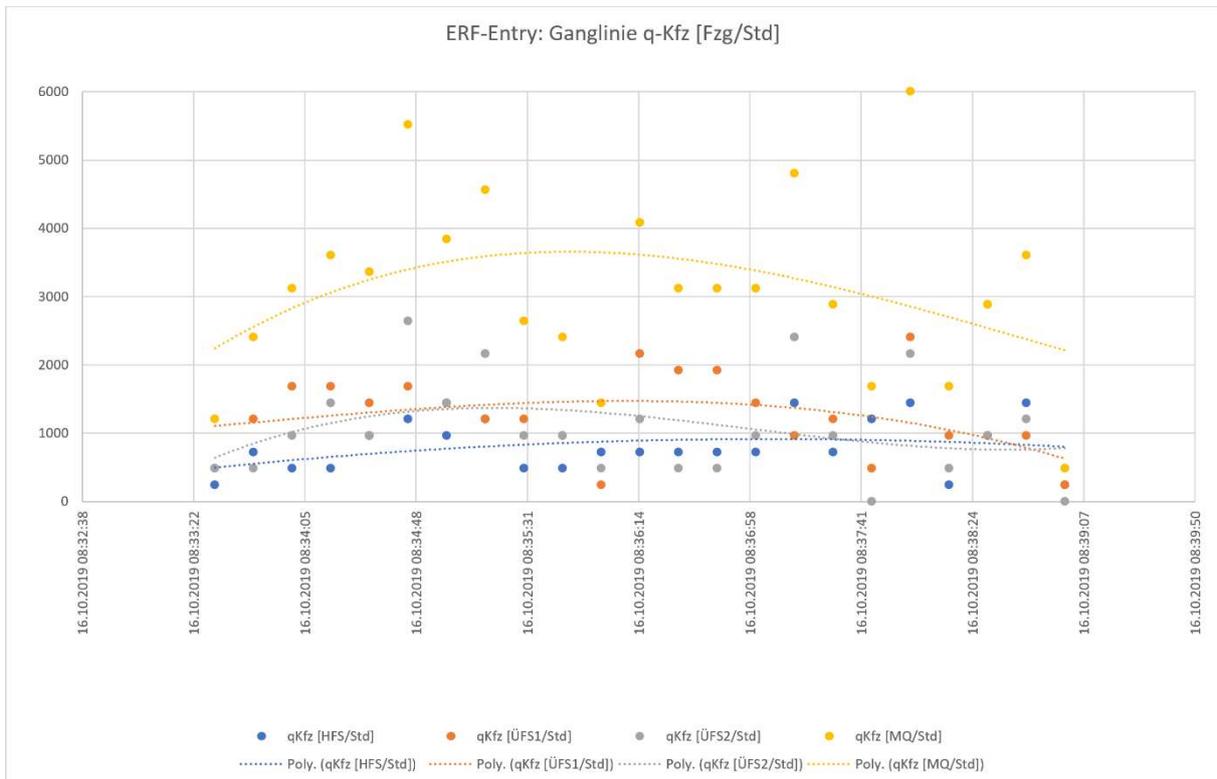
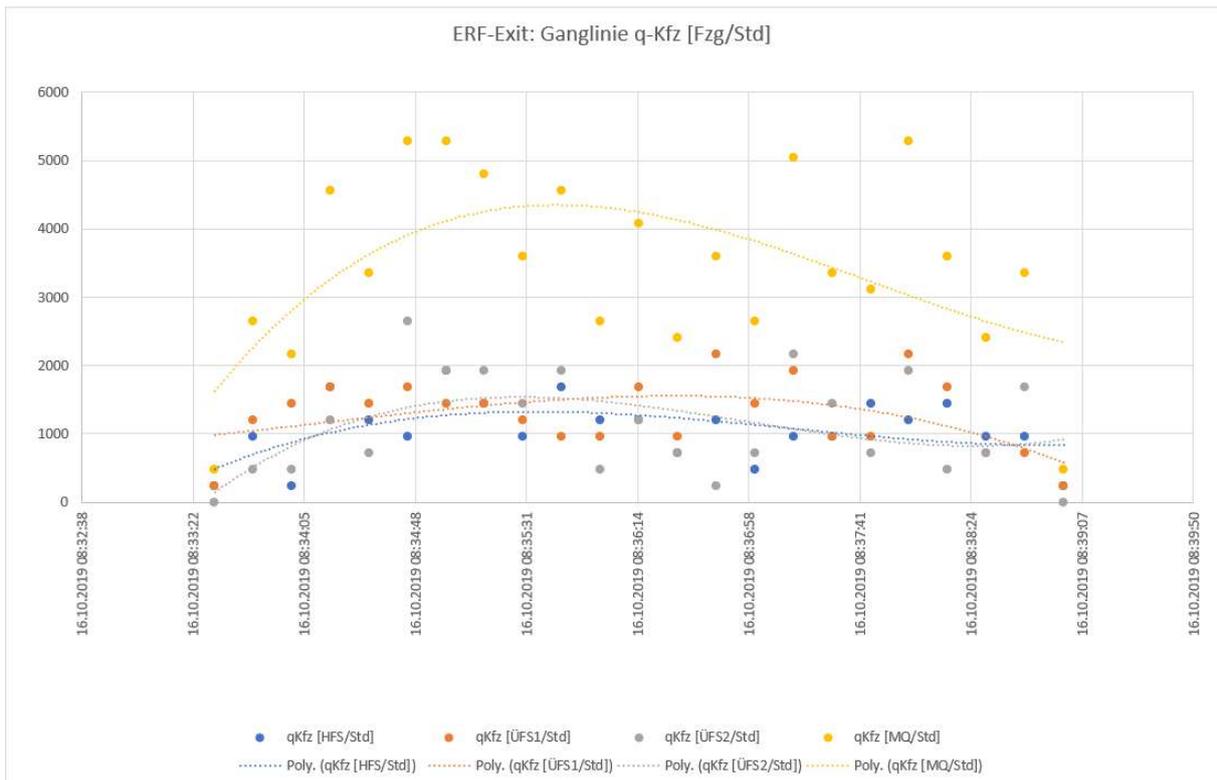
Teilfazit: Die vorstehenden Diagramme zeigen bei den zeitlichen Verläufen im MQ (Summe von 3 Fahrstreifen) bei der aus 15s-Werten hochgerechneten Verkehrsstärke [Kfz/Std] erhebliche Sprünge. Dahingegen ergeben sich bei gleitender Mittelwertbildung mit n=3 für den Verlauf von b_{HFS} stabile Verläufe mit vergleichsweise geringen Schwankungsbreiten, was die Eignung zur Steuerung der ZRA nach dieser Größe bestätigt.

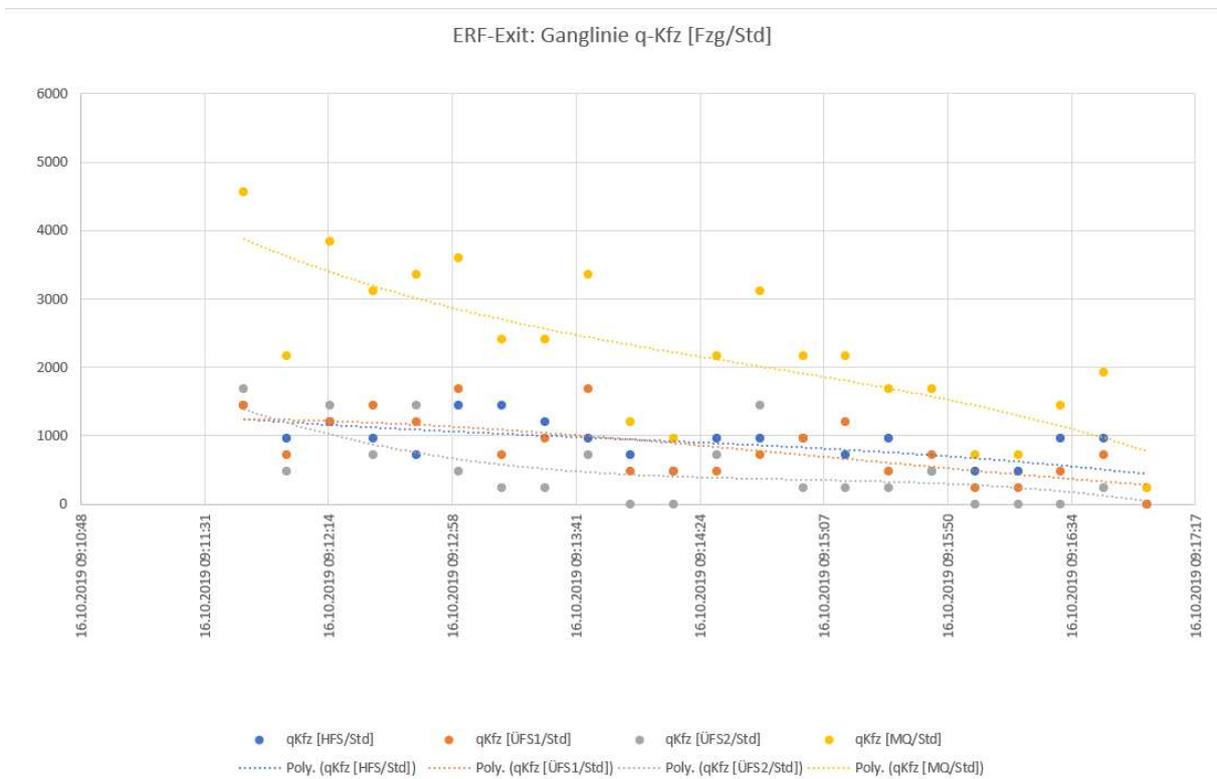
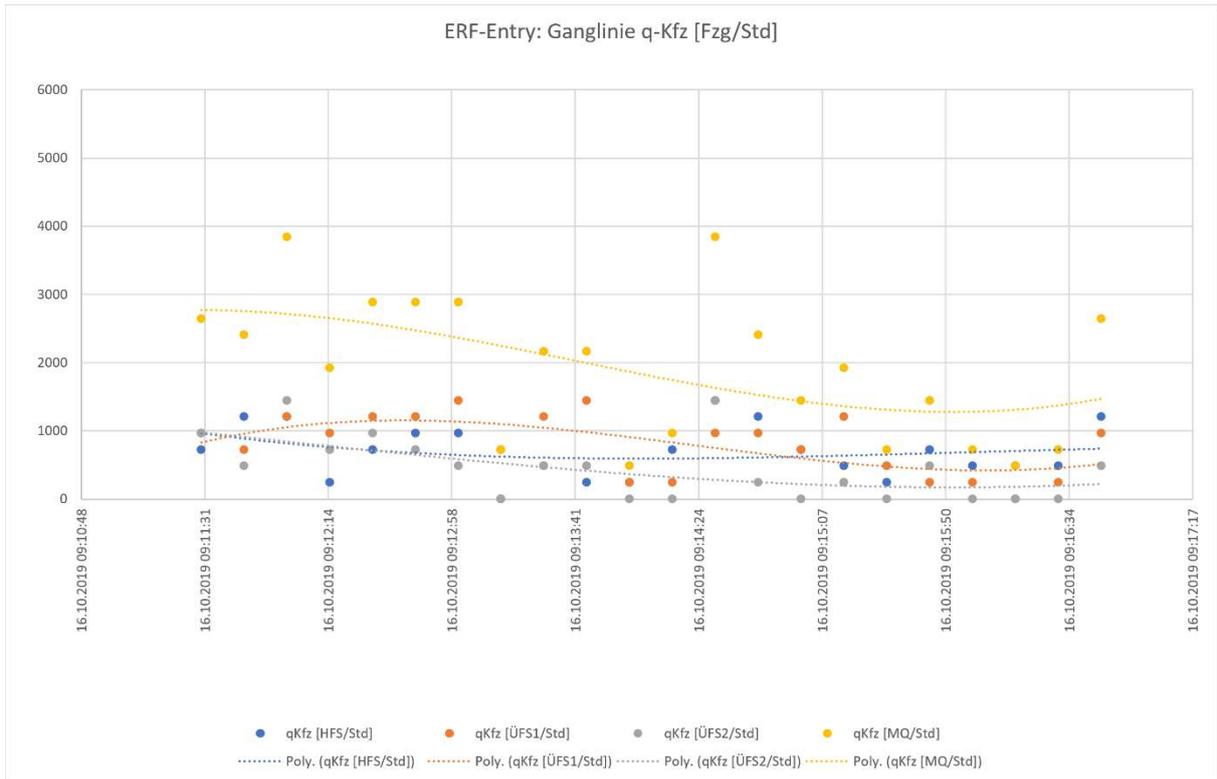
Analyse Ganglinien $q_{Kfz,HFS}$, $q_{Kfz,ÜFS1}$, $q_{Kfz,ÜFS2}$ und $Q_{Kfz,MQ}$ für Entry und Exit:

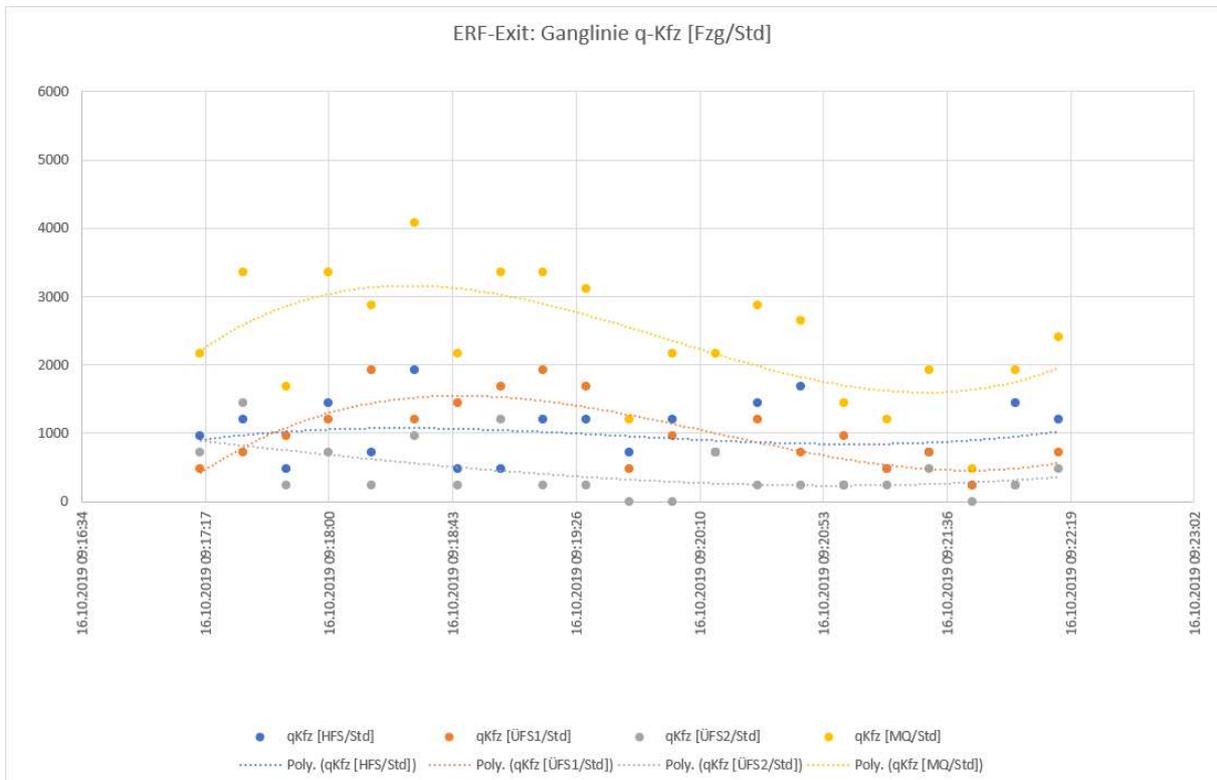
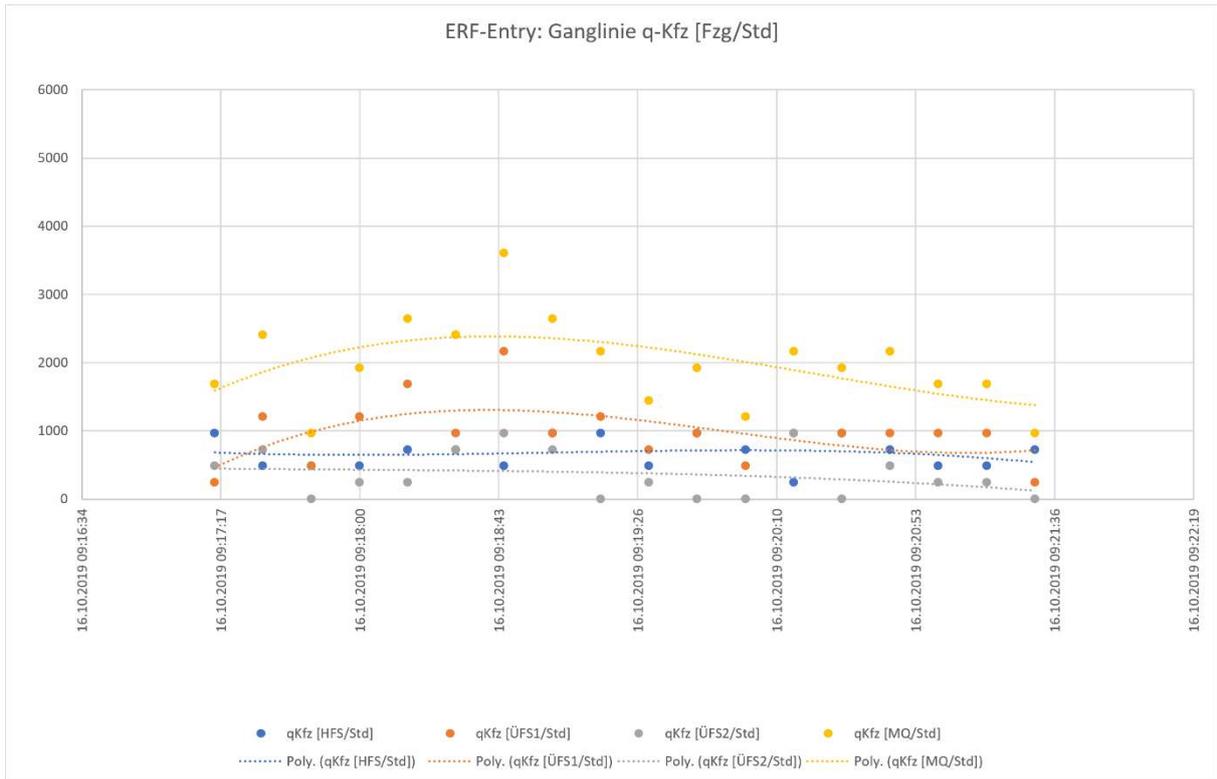


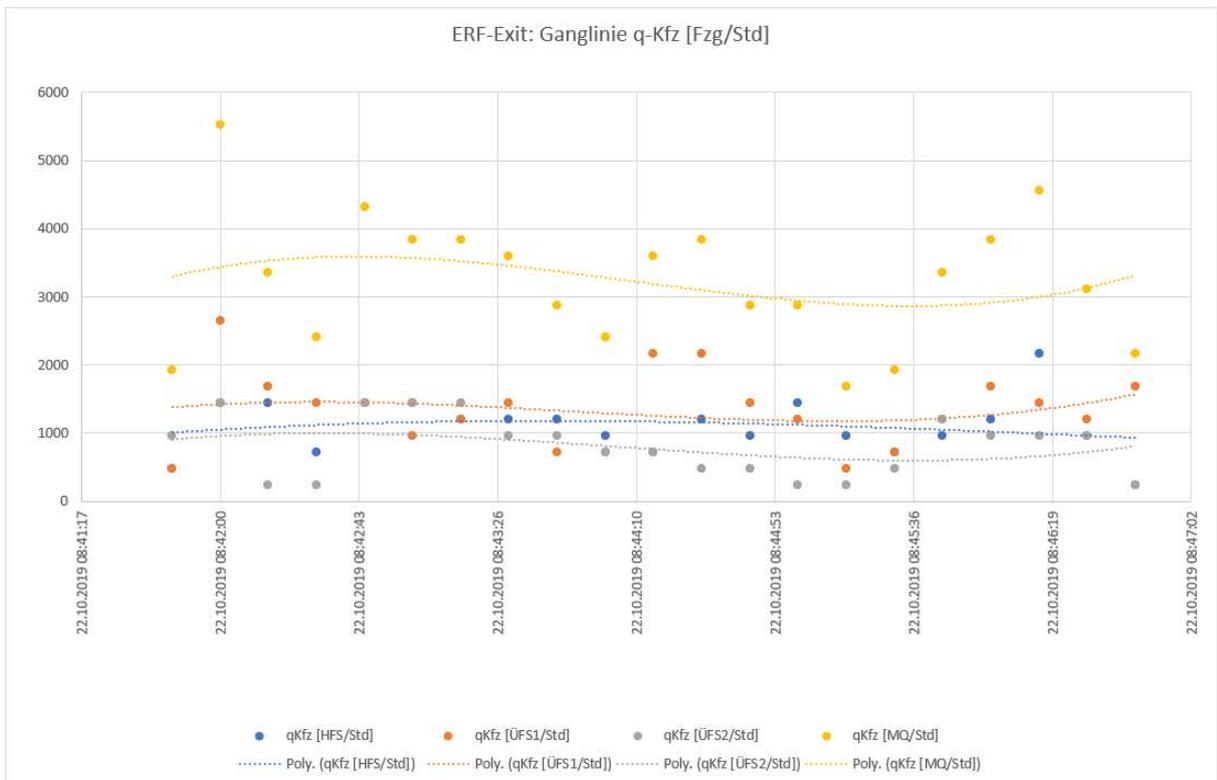
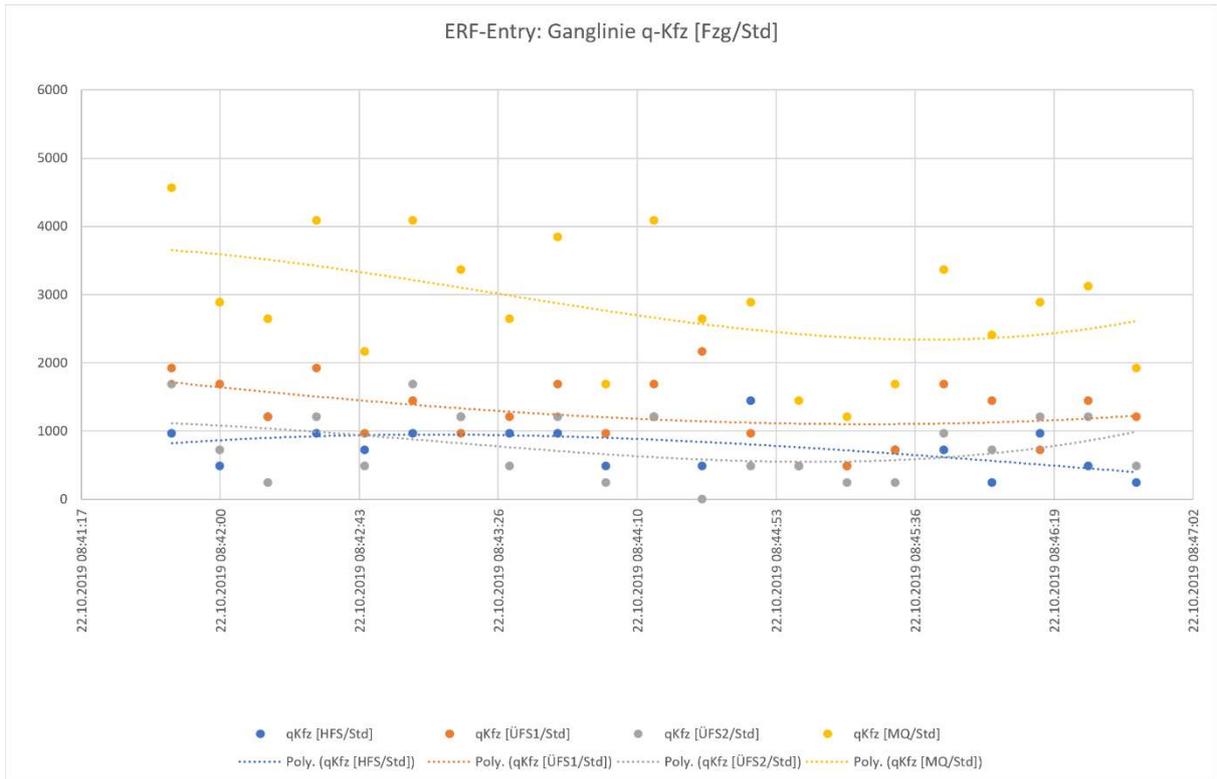


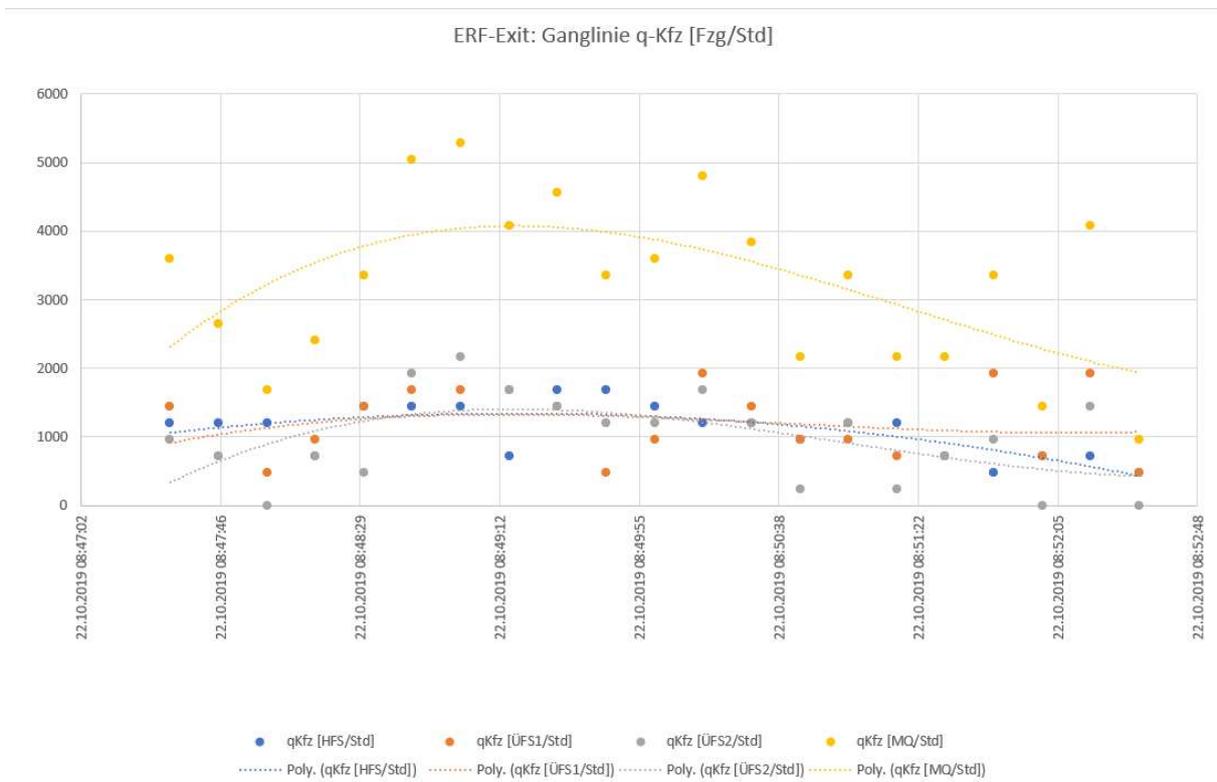
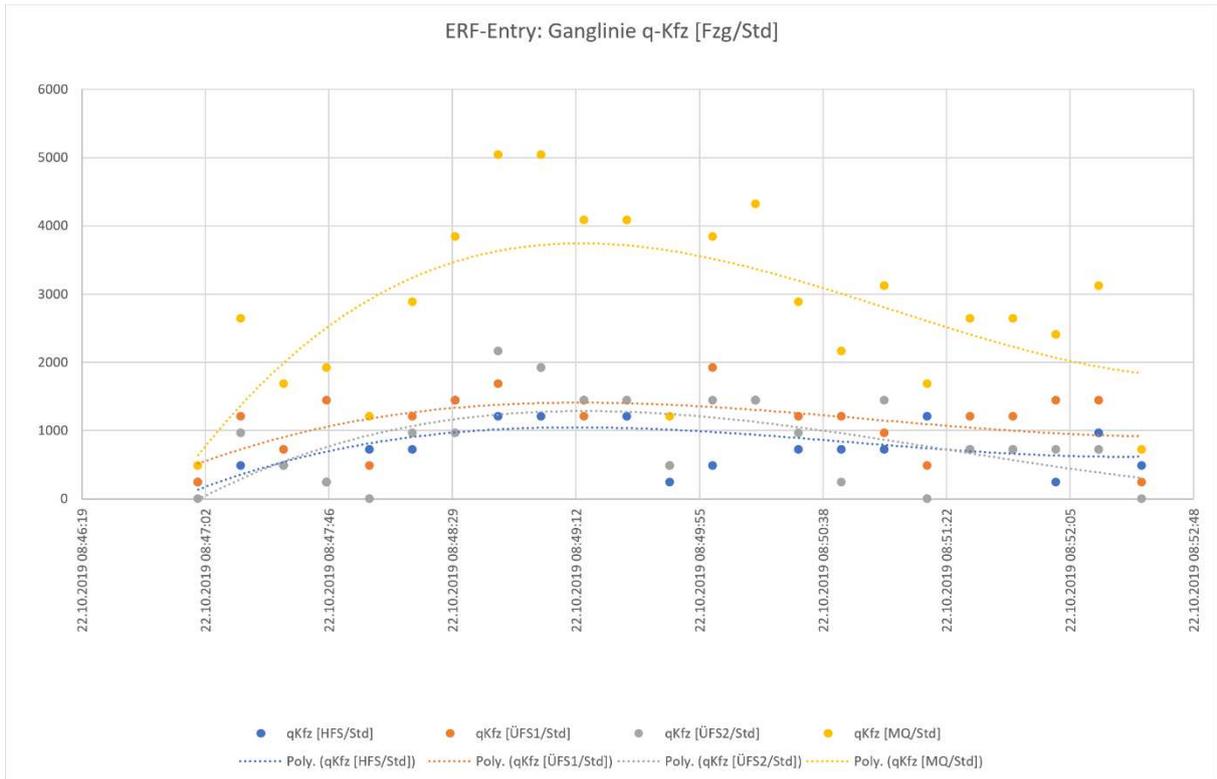


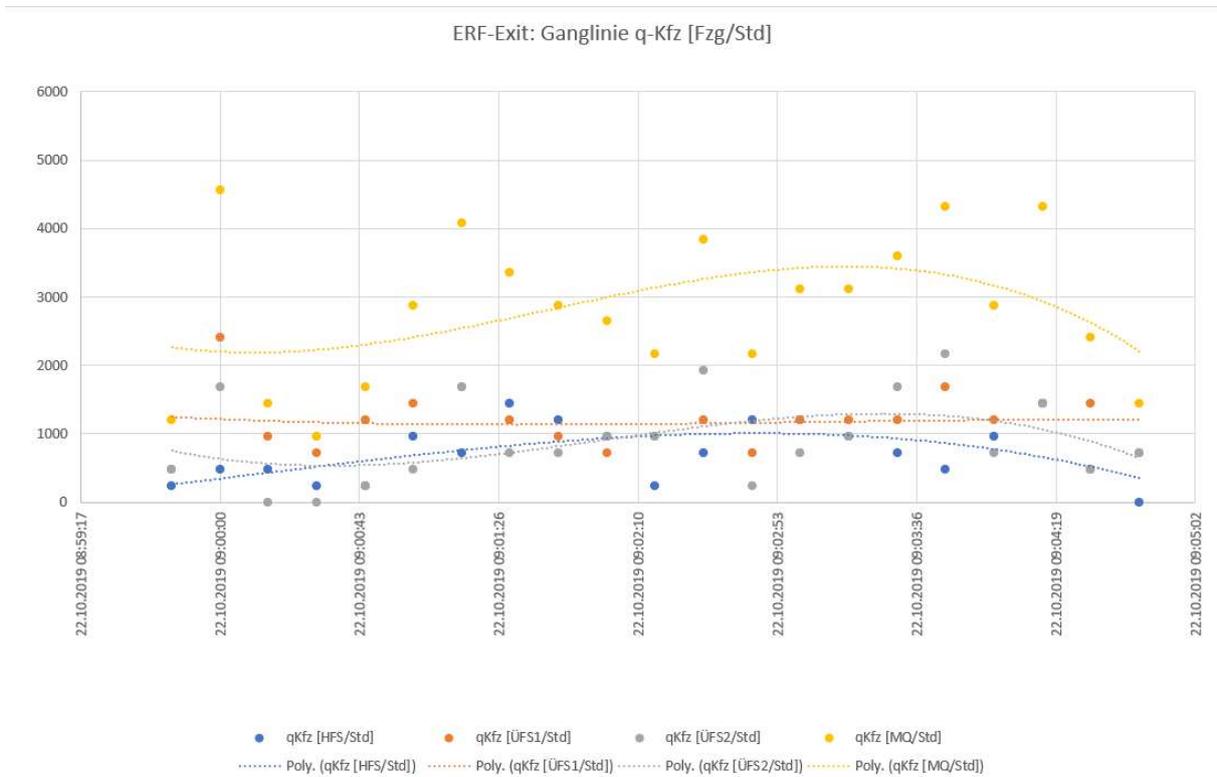
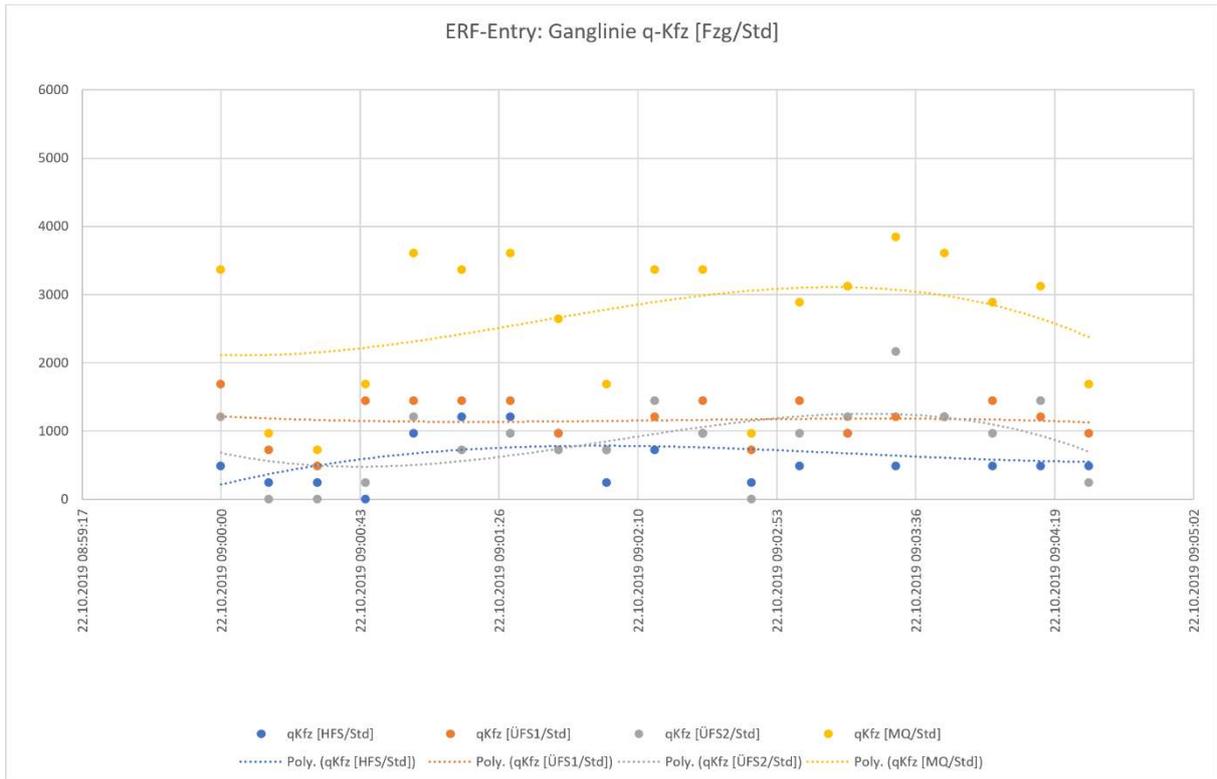


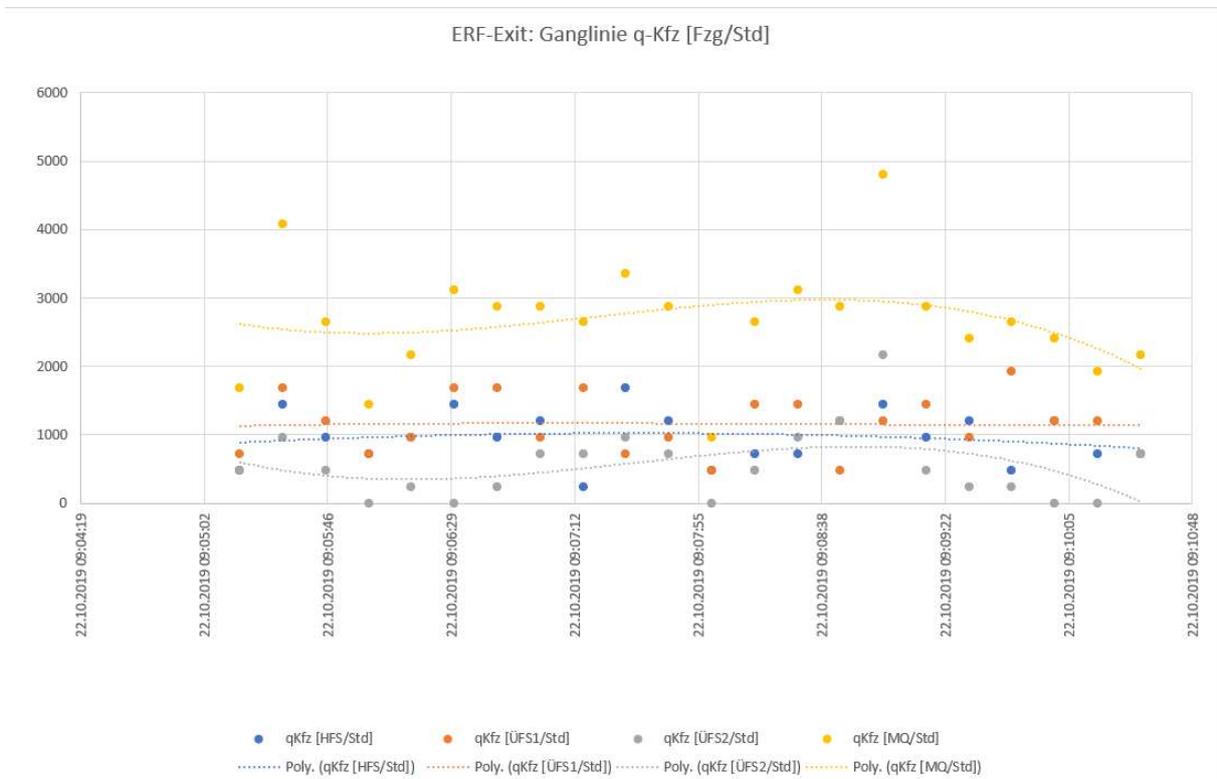
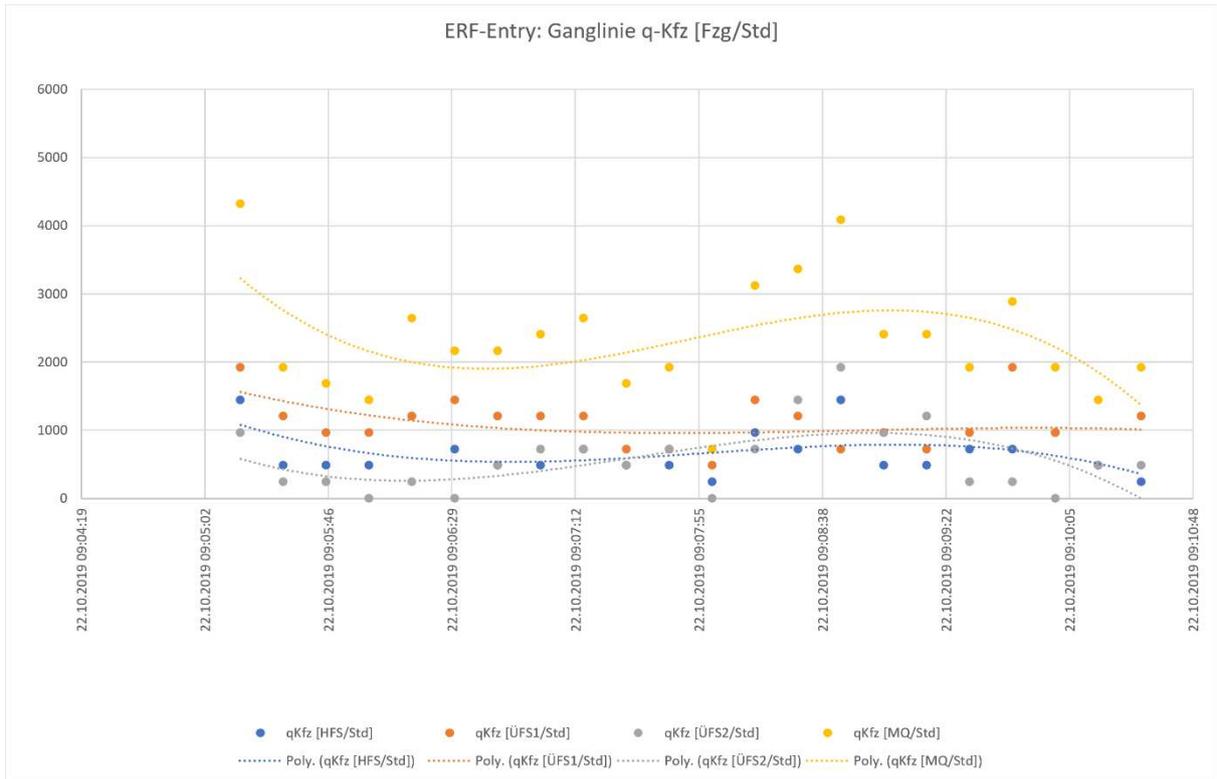


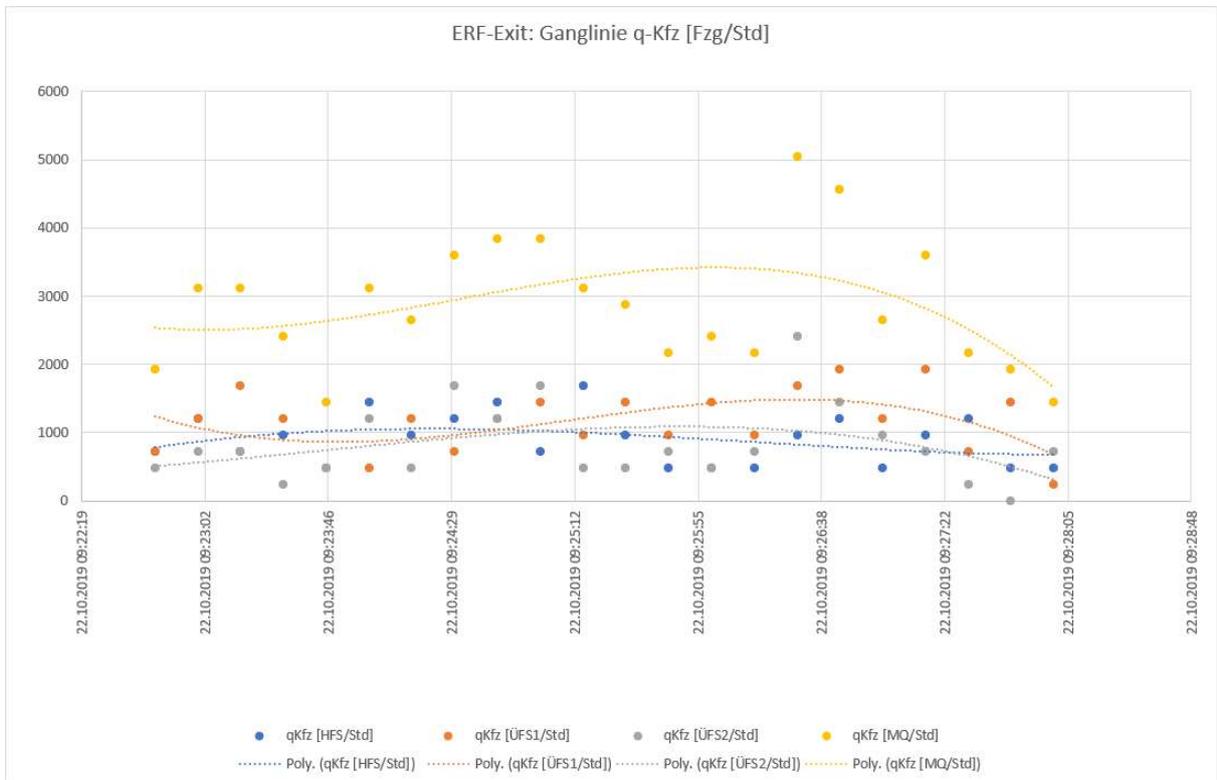
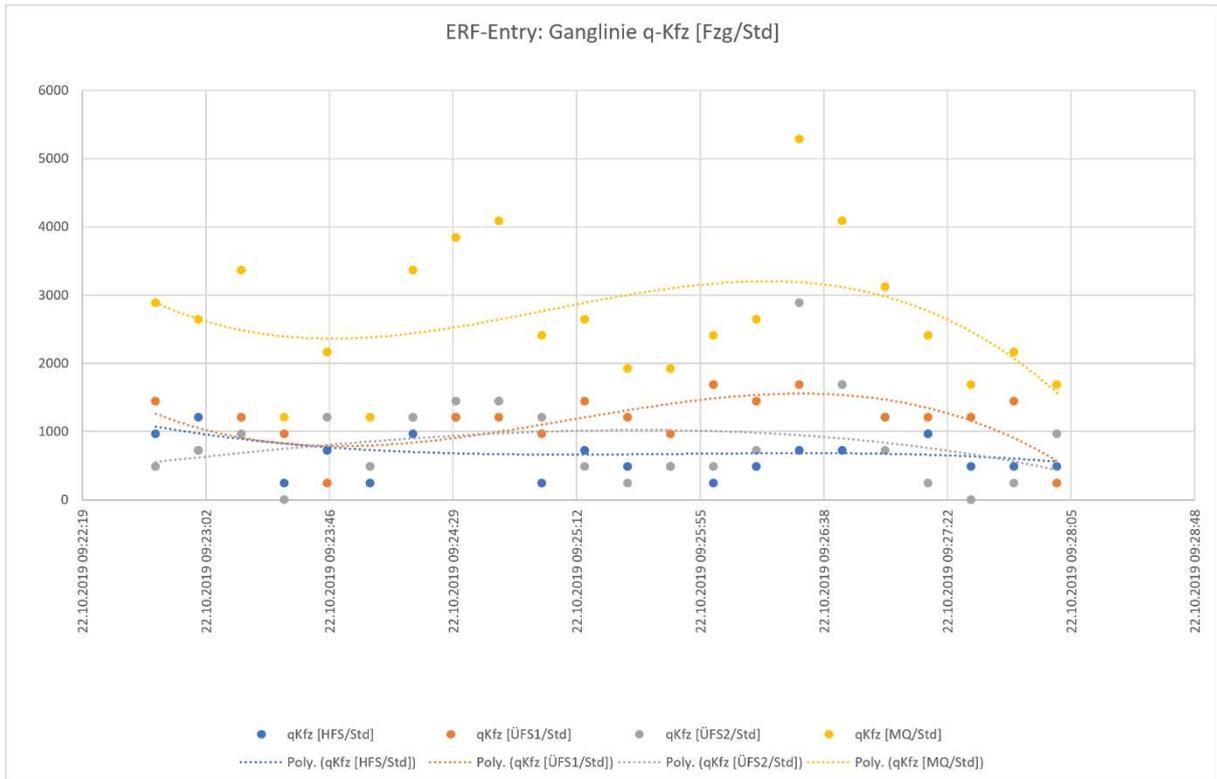


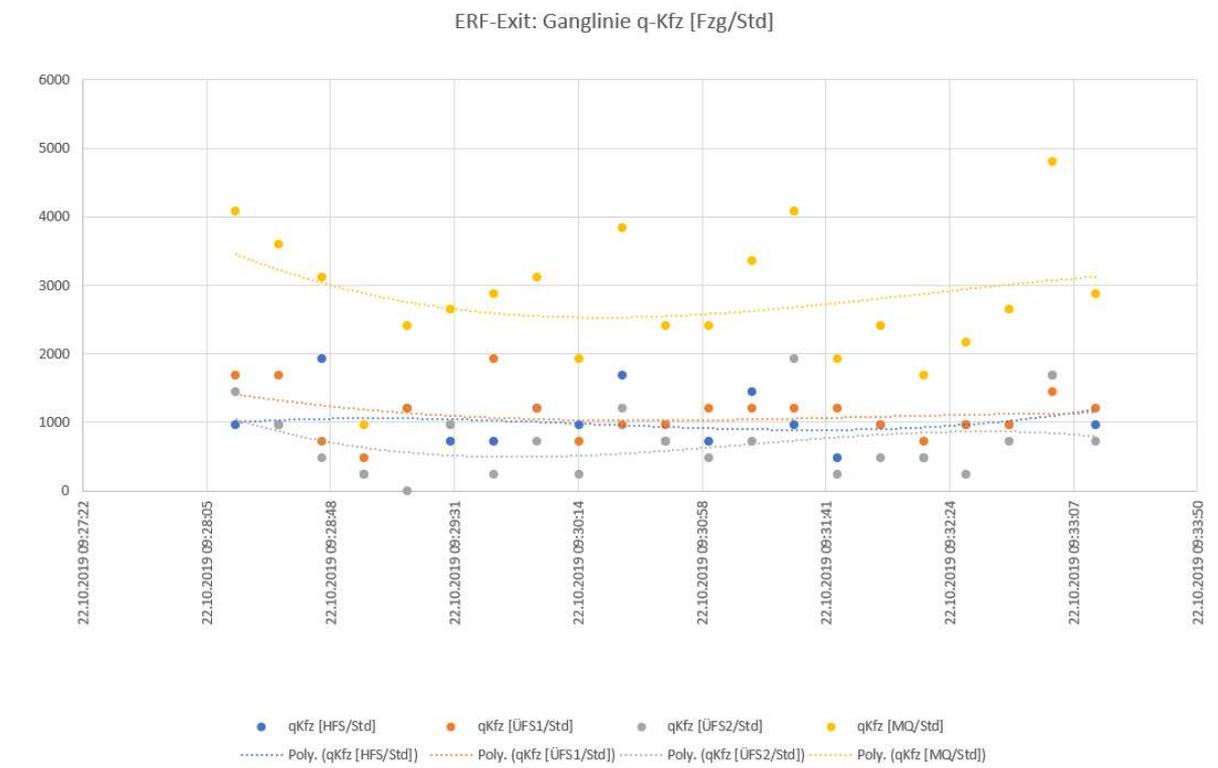
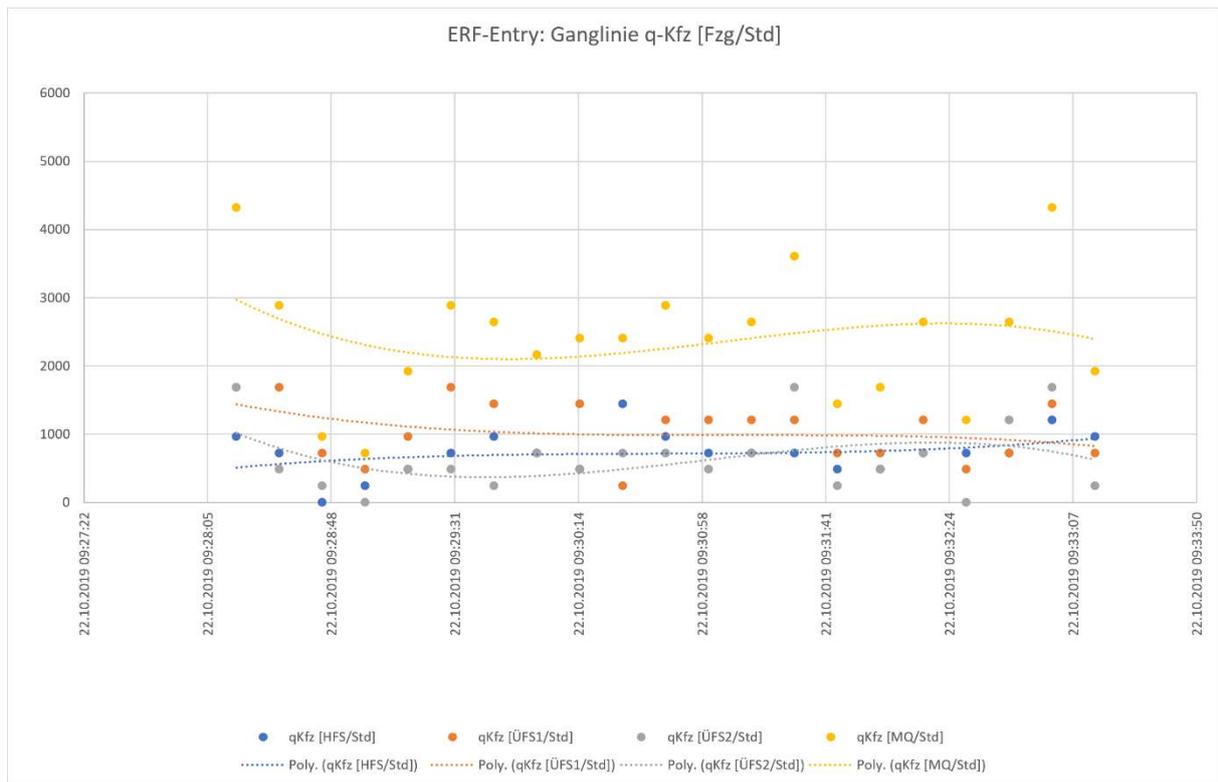






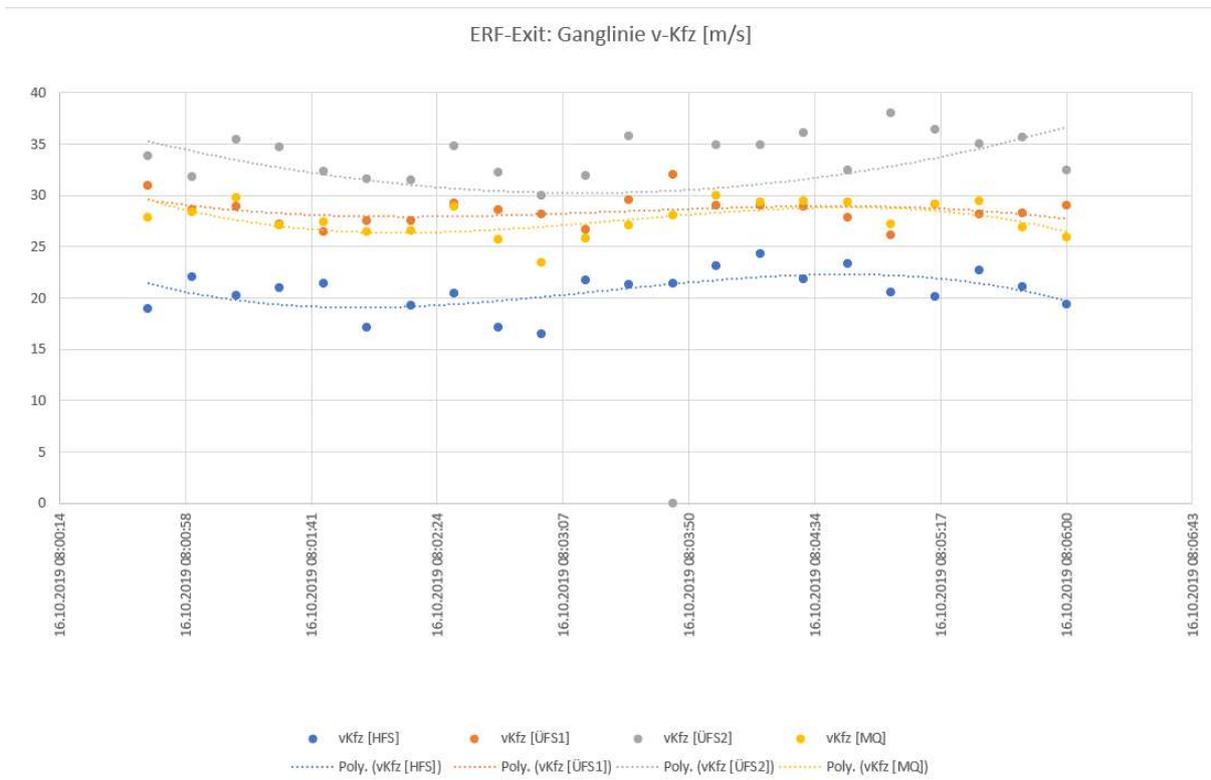
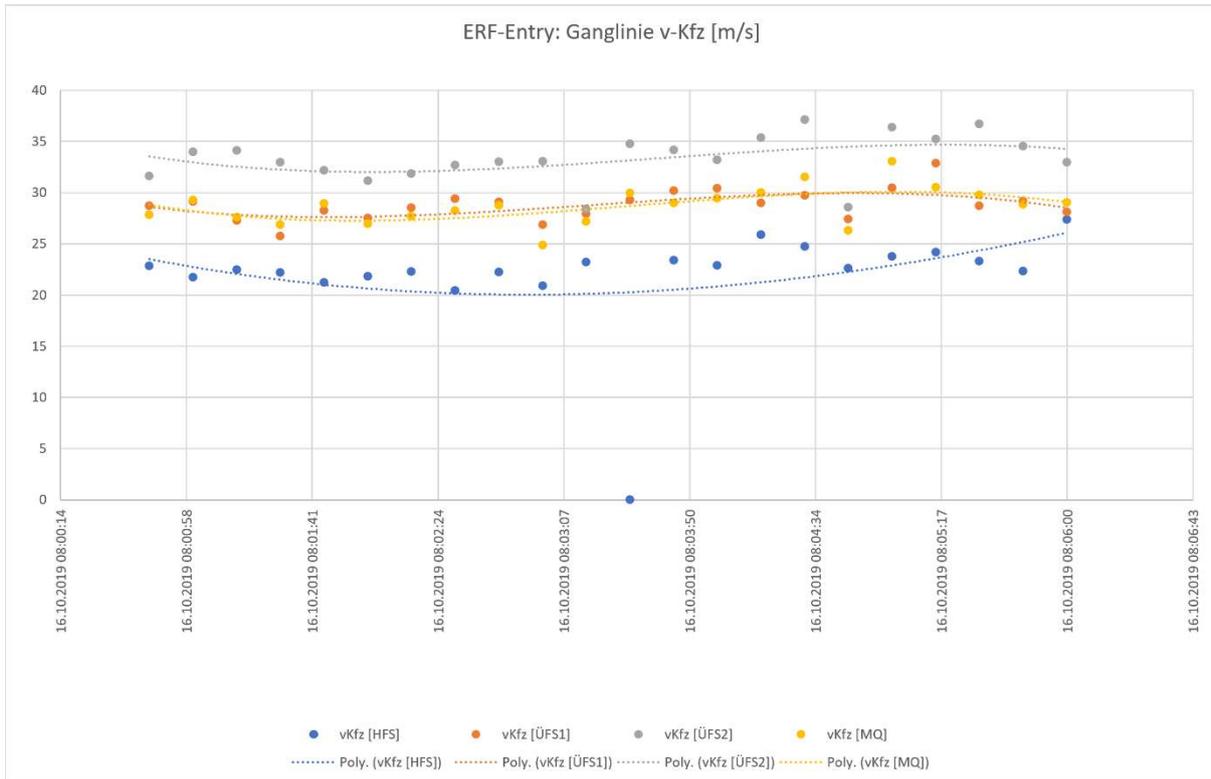


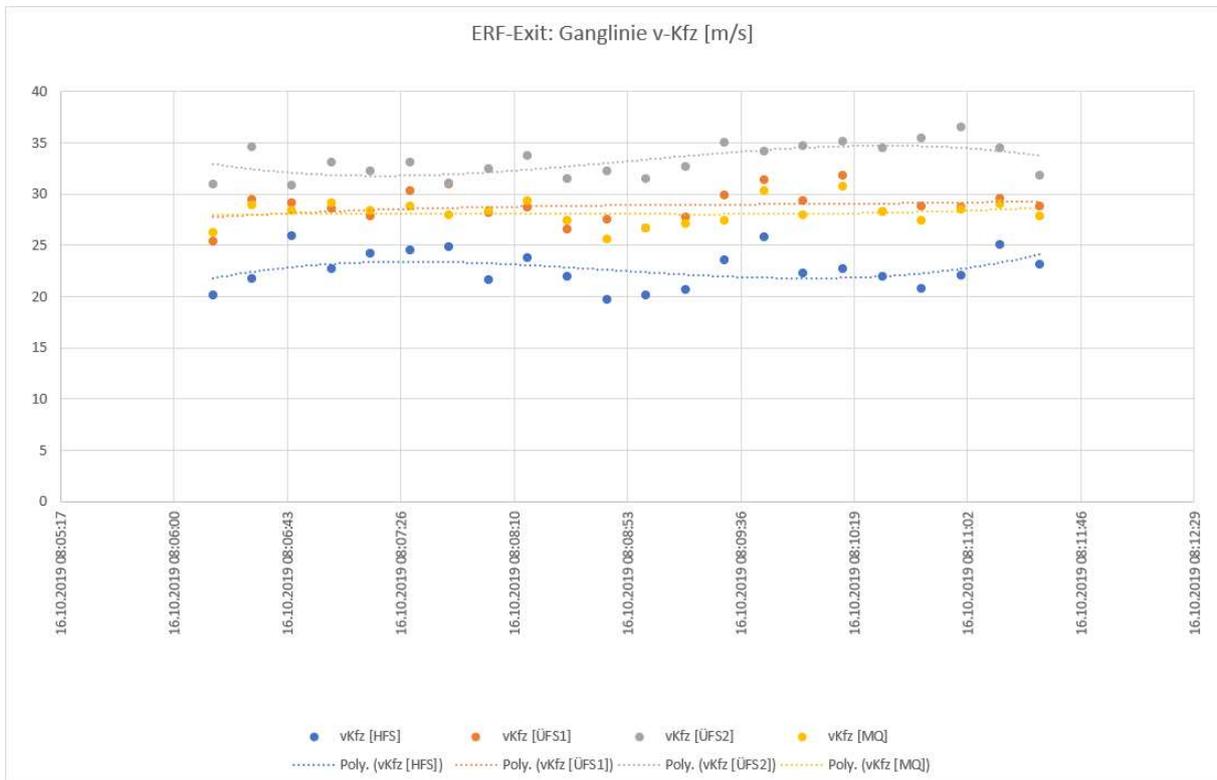
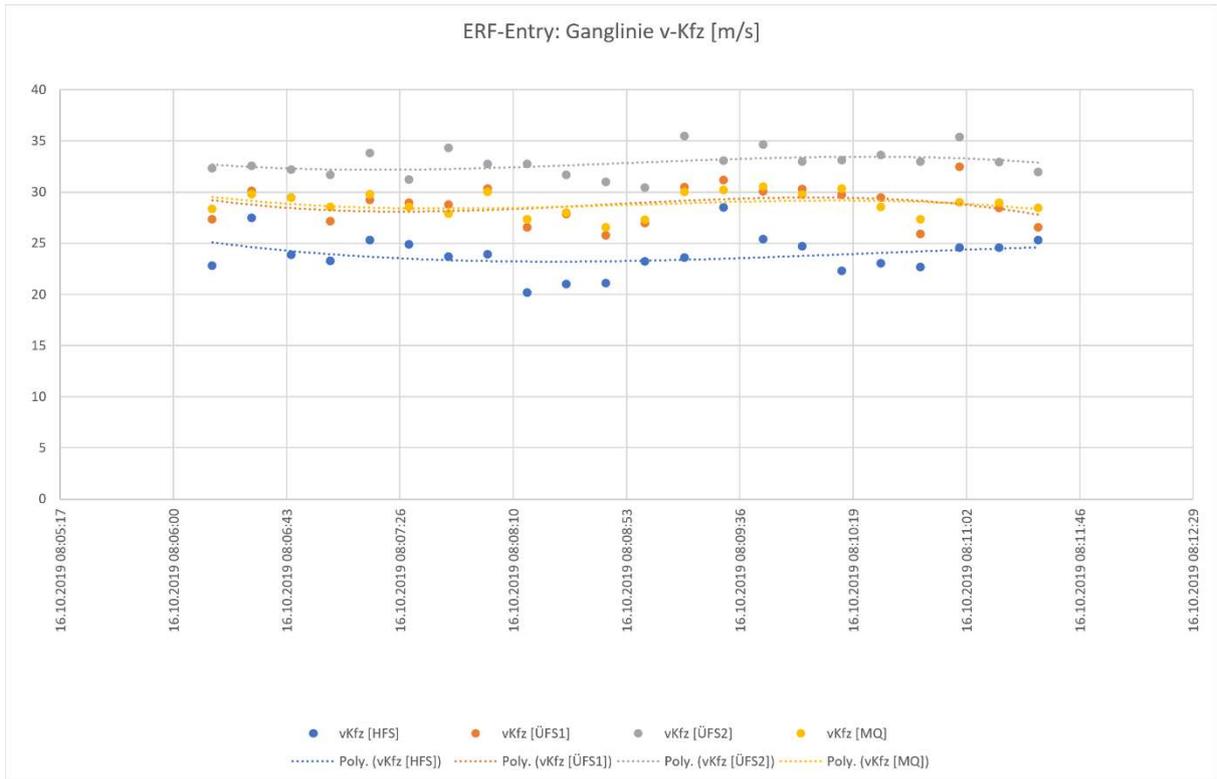


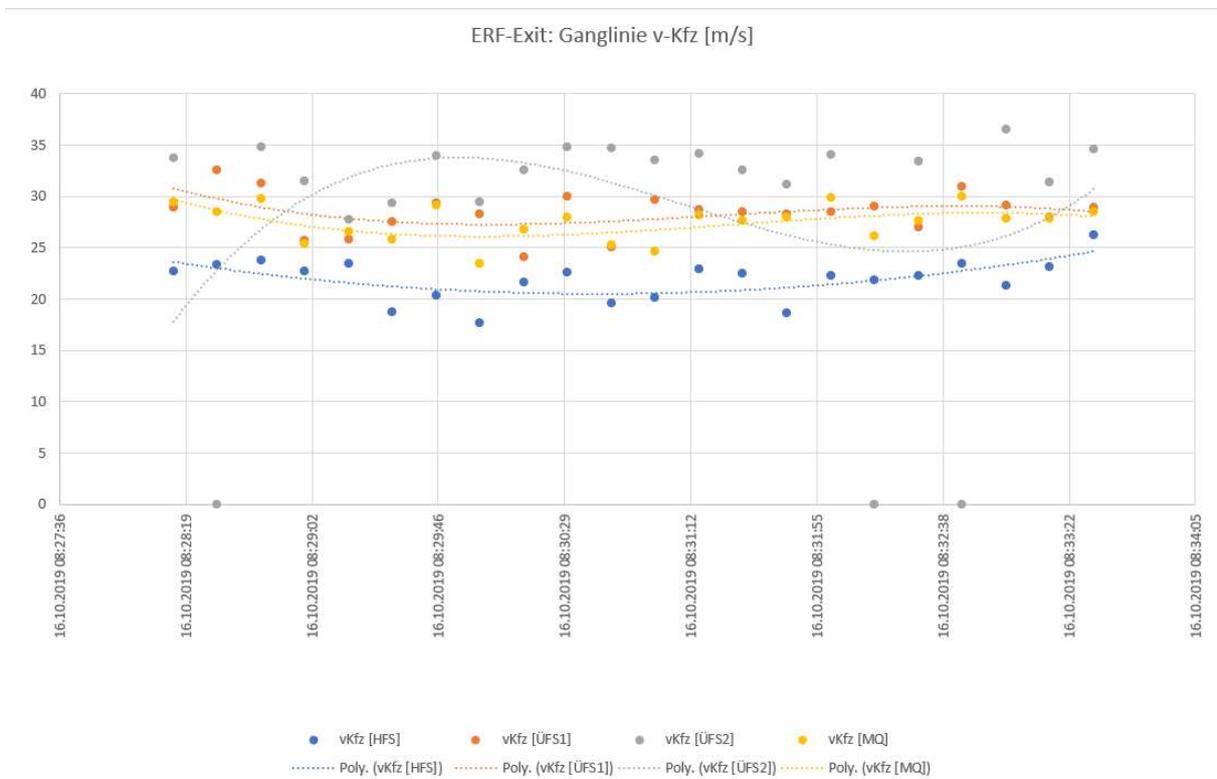
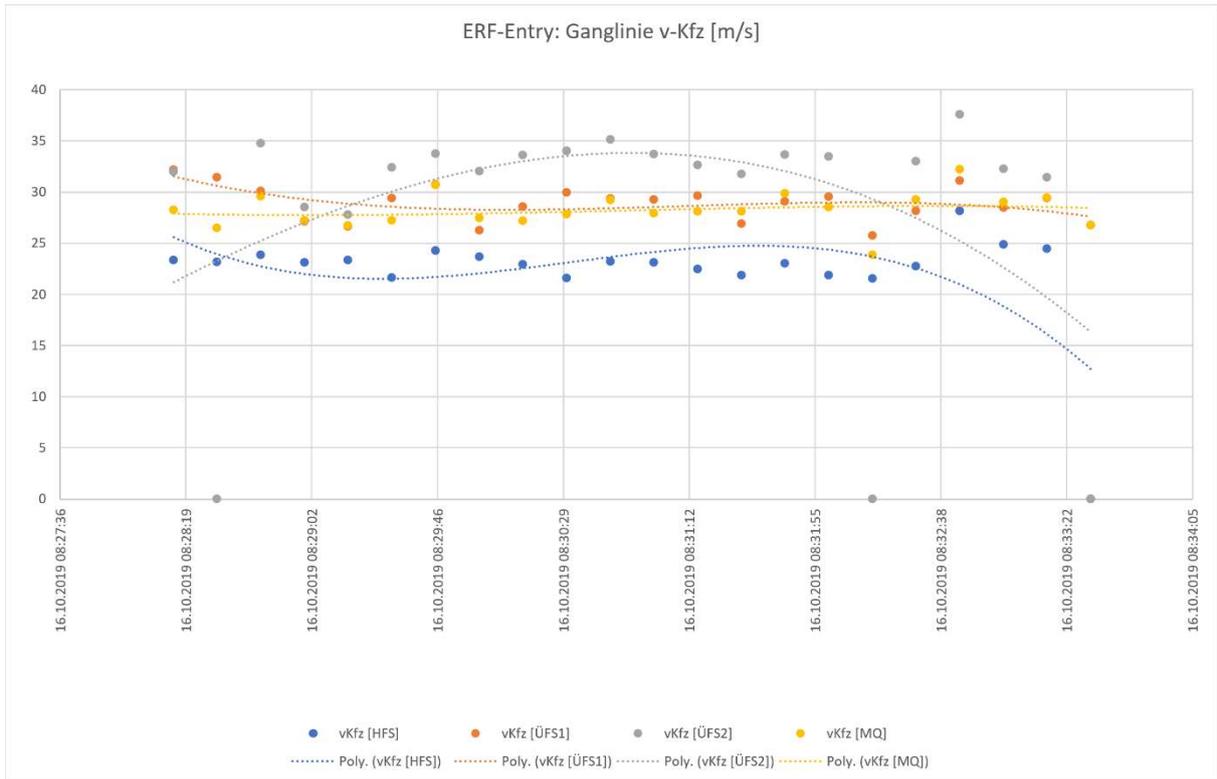


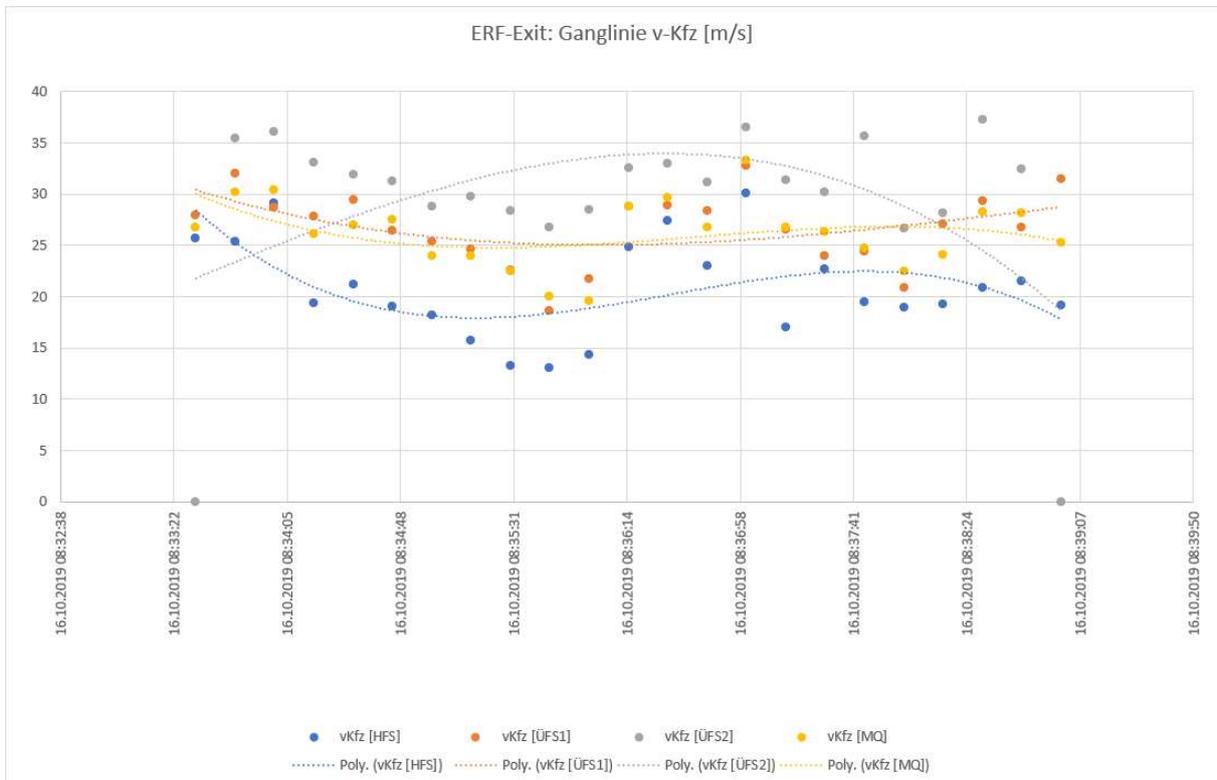
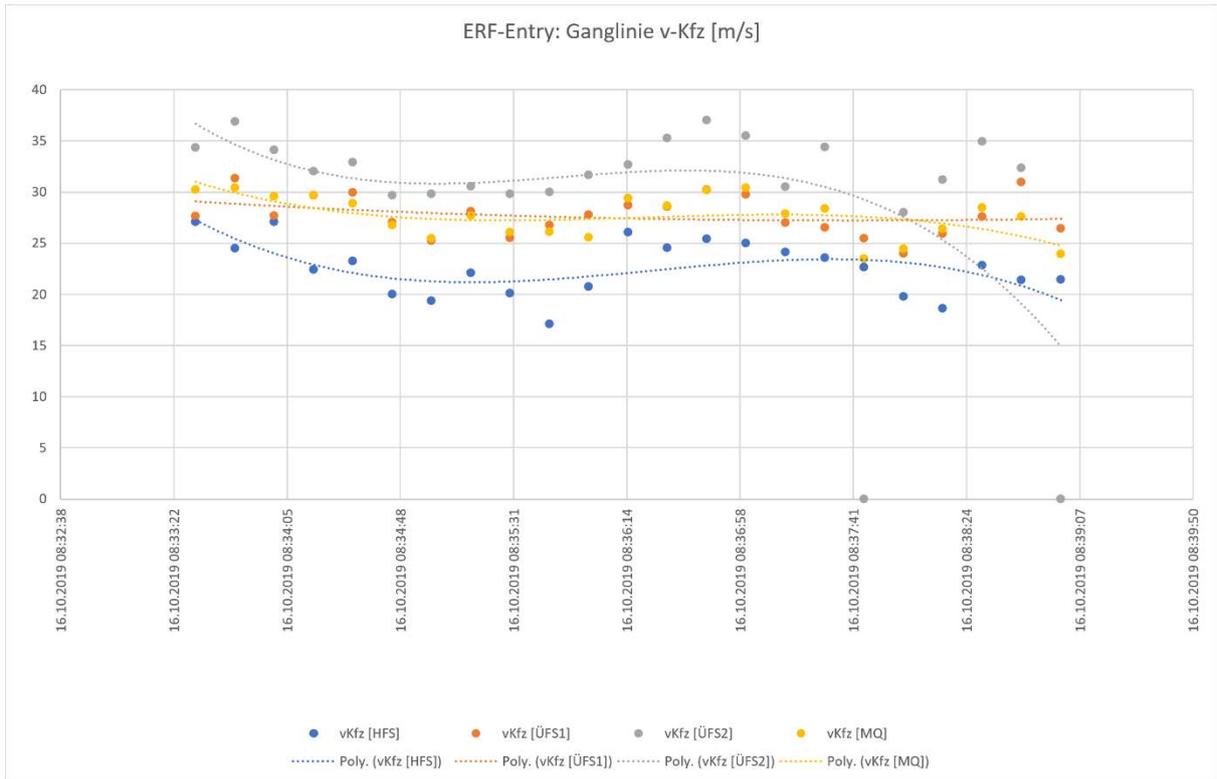
Teilfazit: Die vorstehenden Diagramme zeigen bei den zeitlichen Verläufen der Verkehrsstärke je Fahrstreifen und als Summe (MQ), dass trotz dem per VBA geschalteten Lkw-Überholverbot die Verkehrsstärke auf dem HFS meist ähnlich hoch liegt wie beim ÜFS1, obwohl dort die Geschwindigkeiten höher sind und mit überwiegend Pkw-ähnlichen Fahrzeugen höhere Beiträge zur Verkehrsstärke im Gesamtquerschnitt zu erwarten wären.

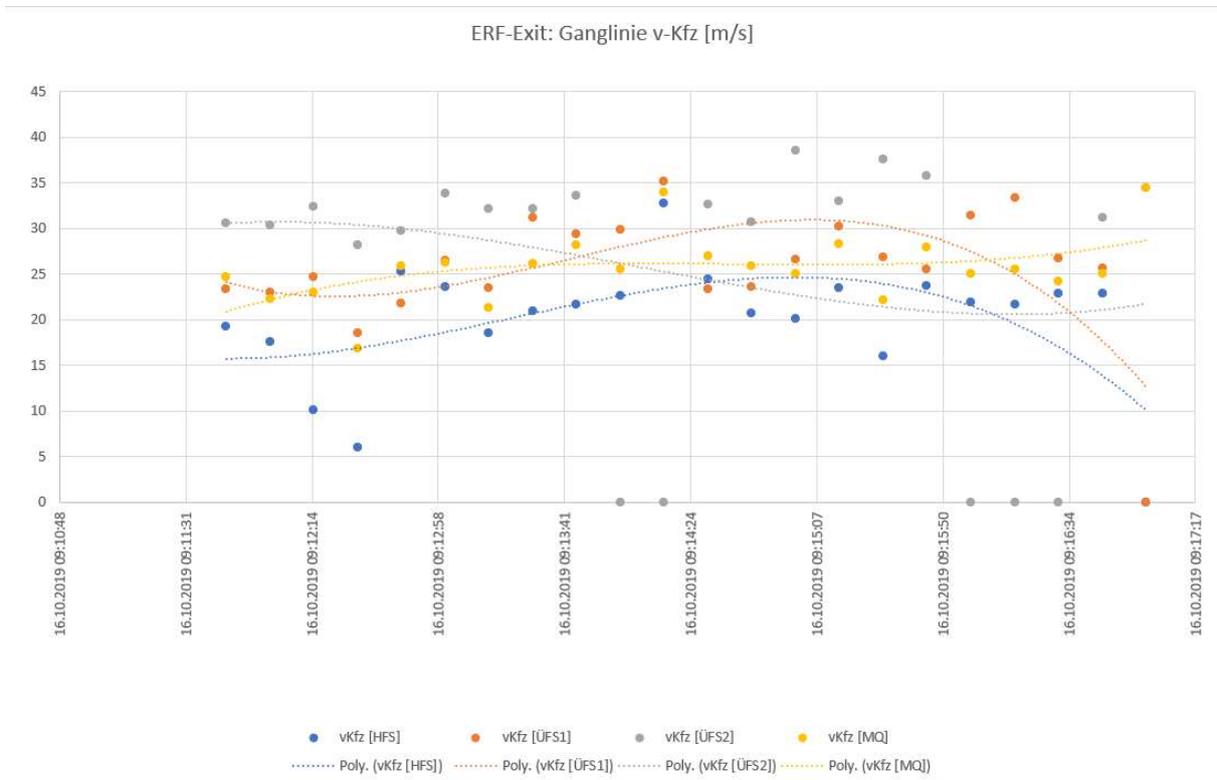
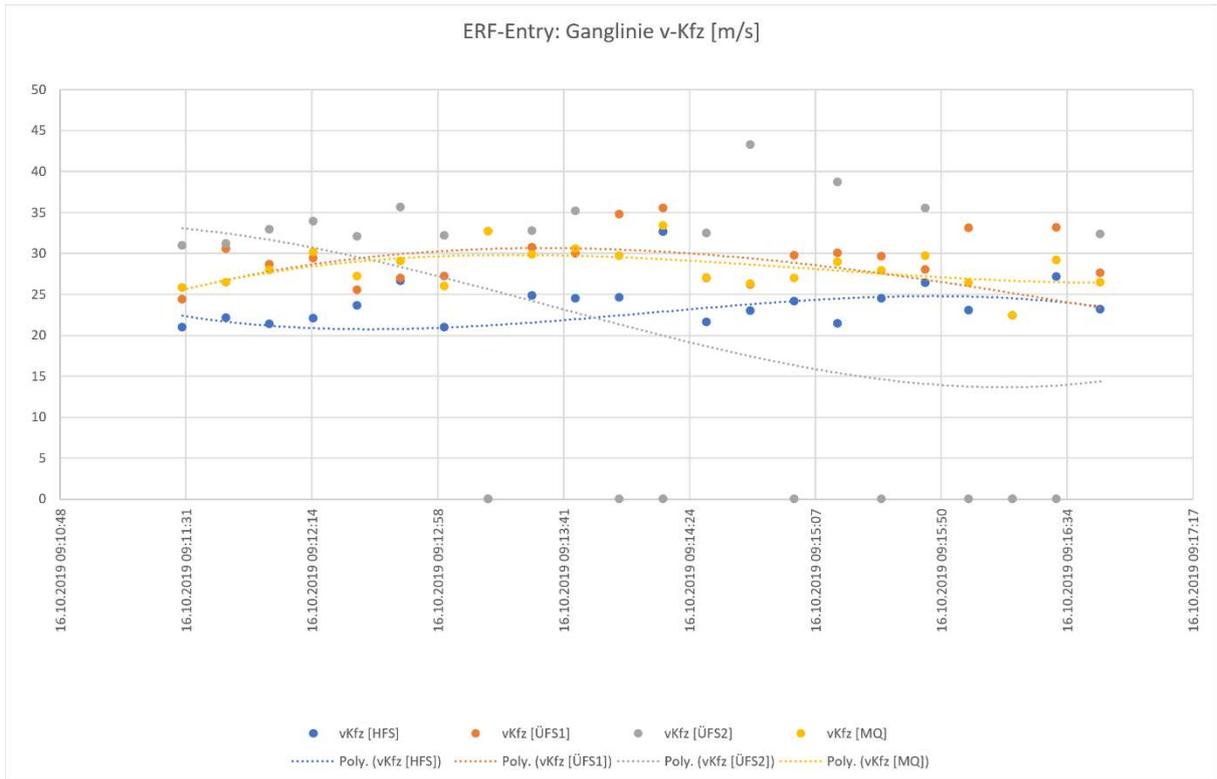
Analyse Ganglinien $v_{Kfz,HFS}$, $v_{Kfz,ÜFS1}$, $v_{Kfz,ÜFS2}$ und $v_{Kfz,MQ}$ für Entry und Exit:

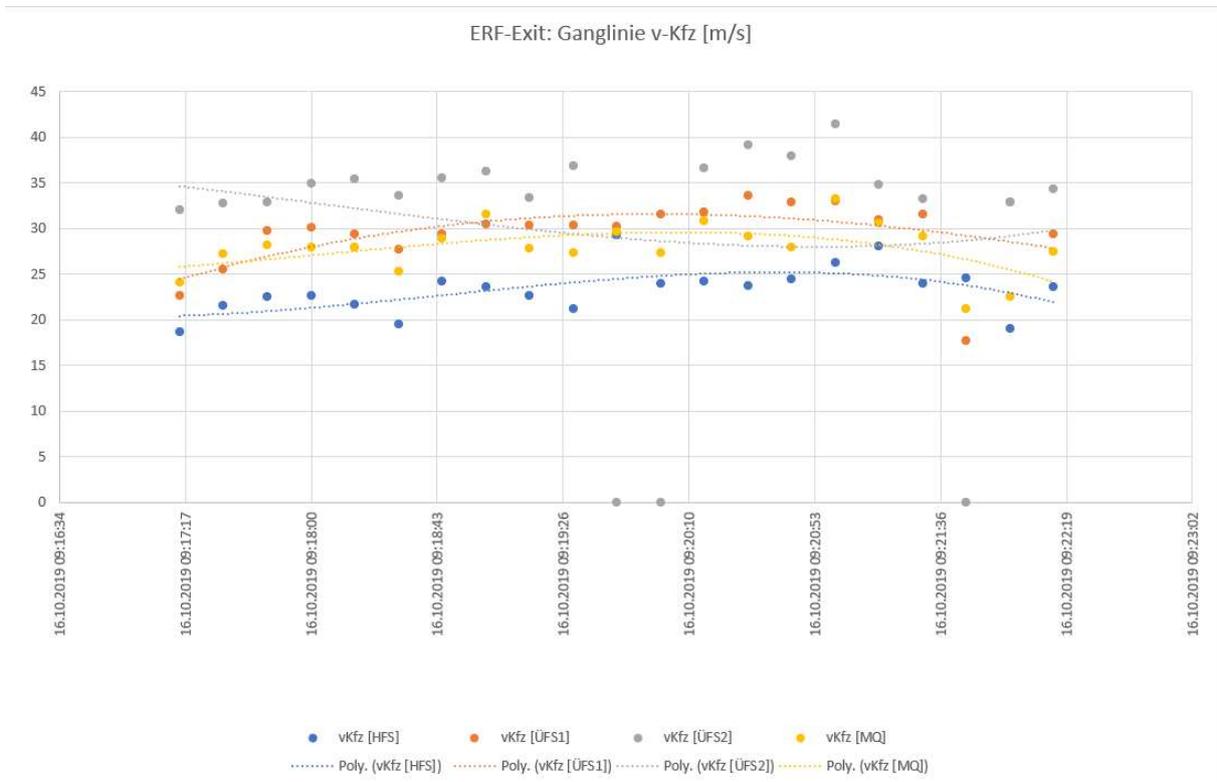
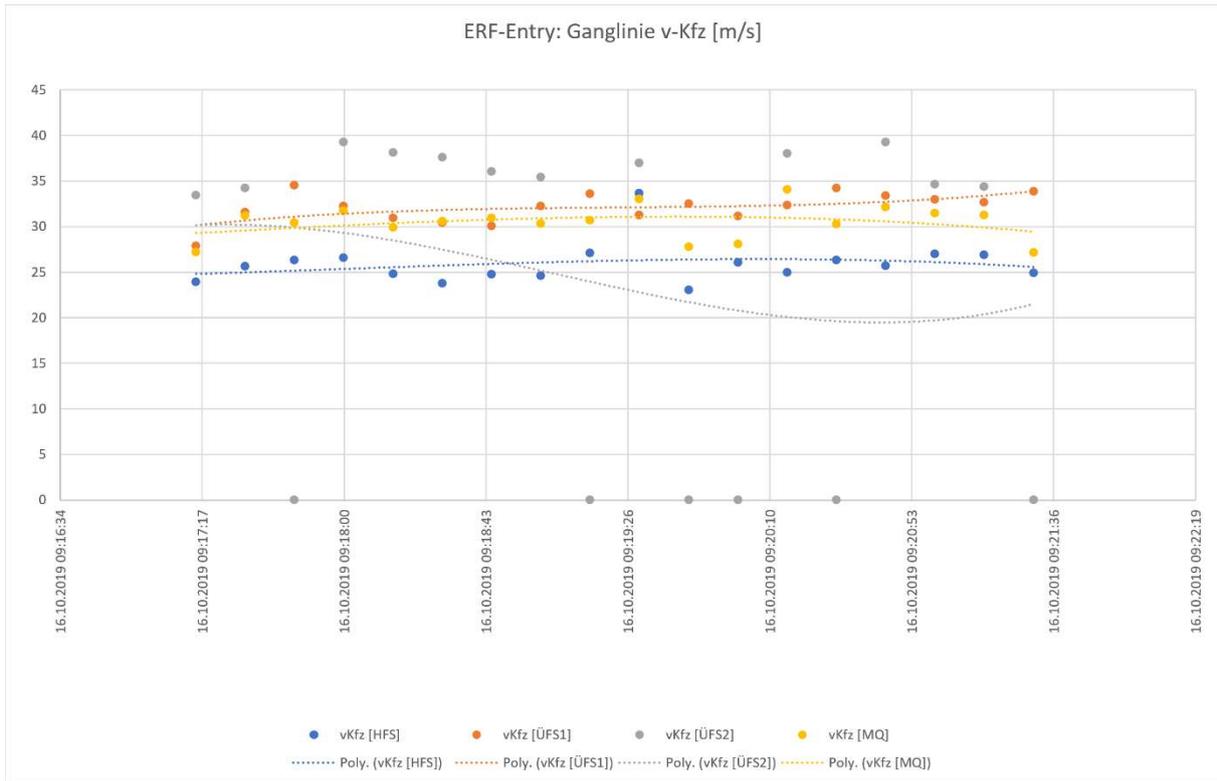


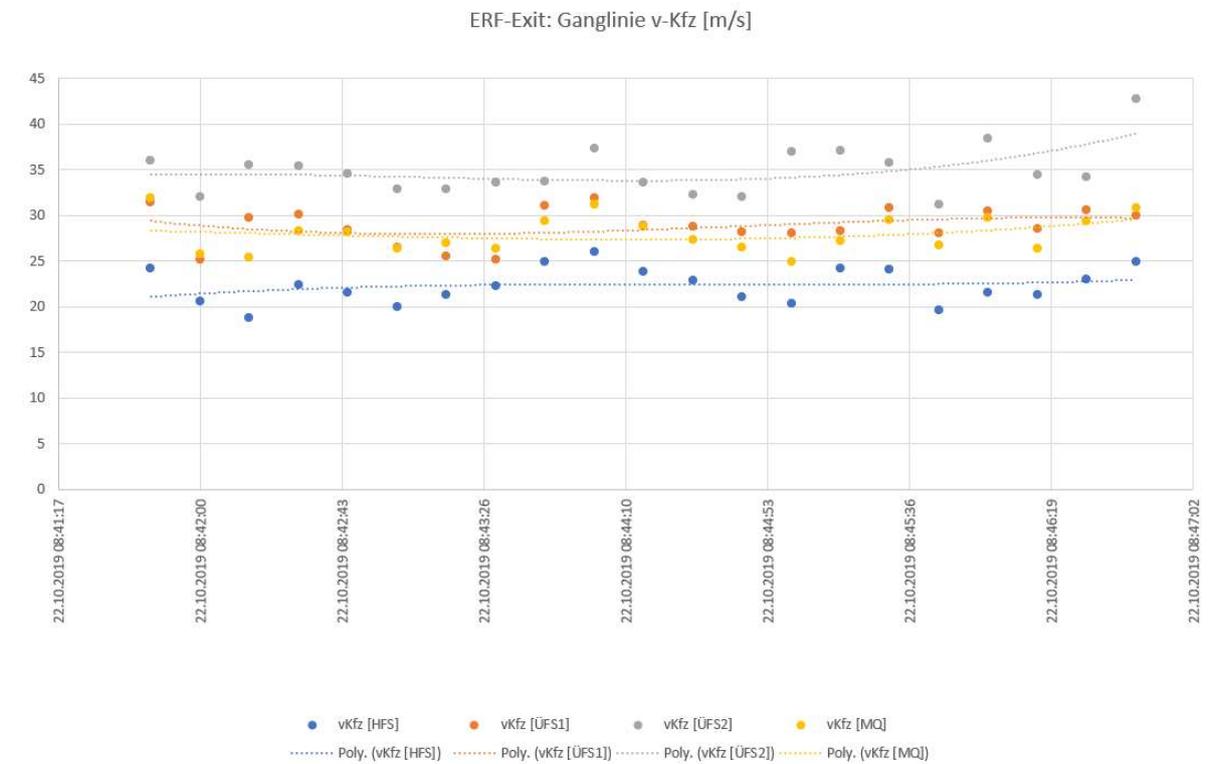
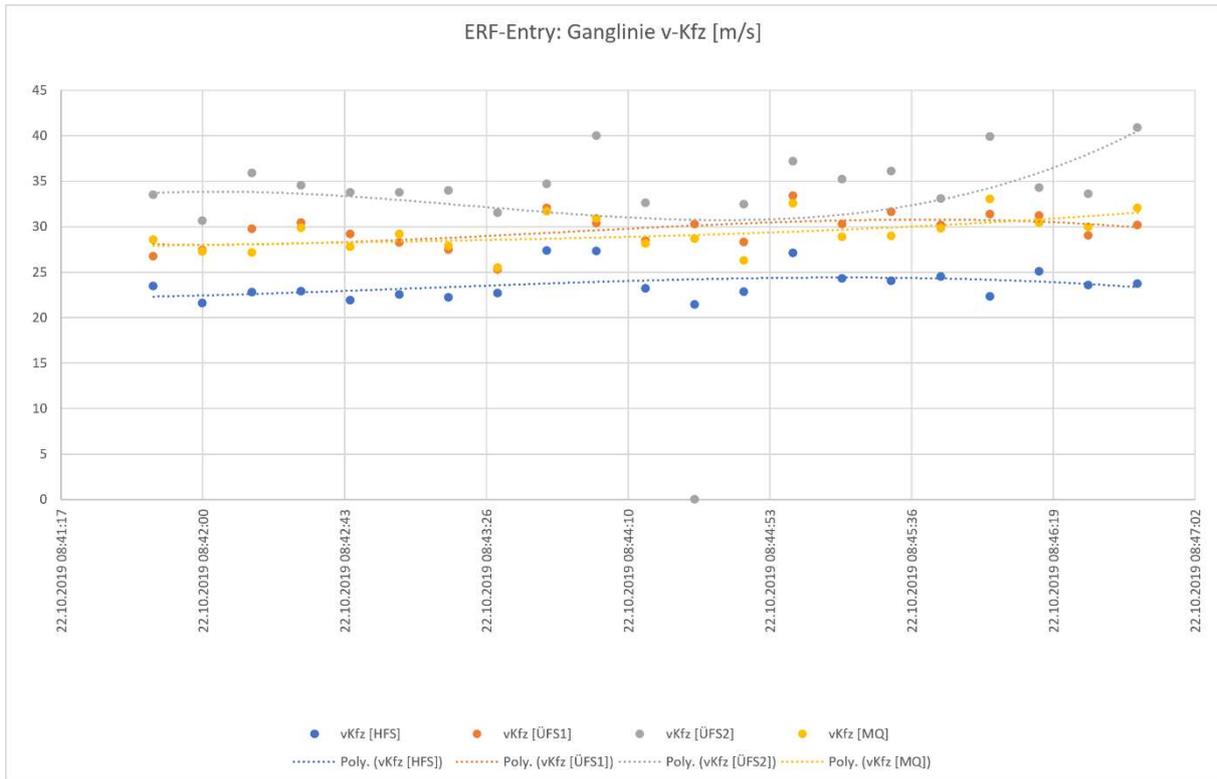


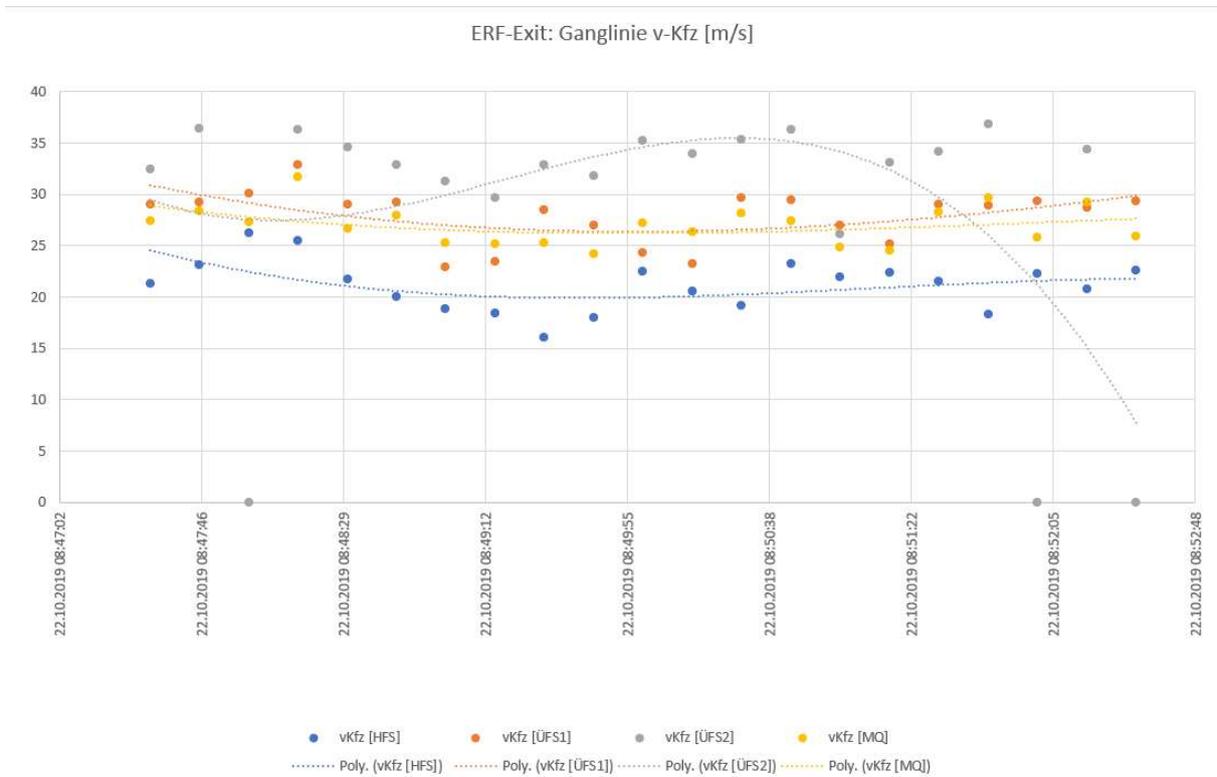
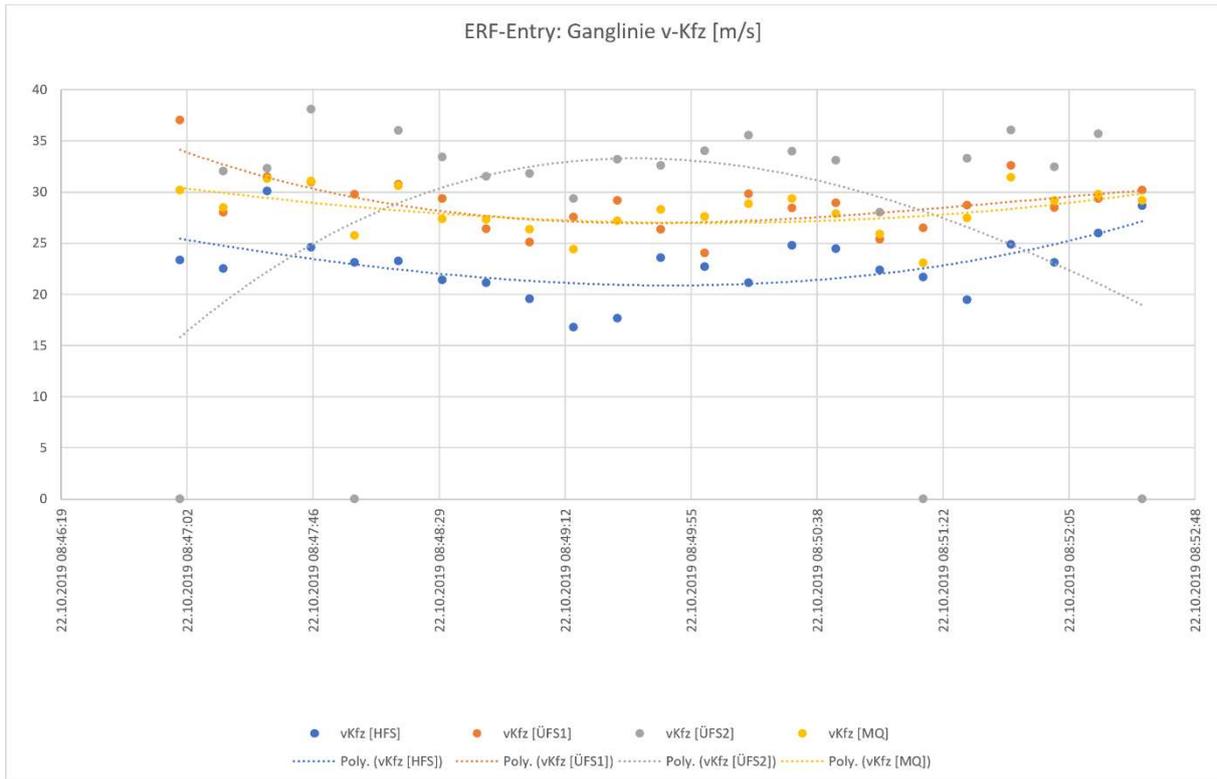


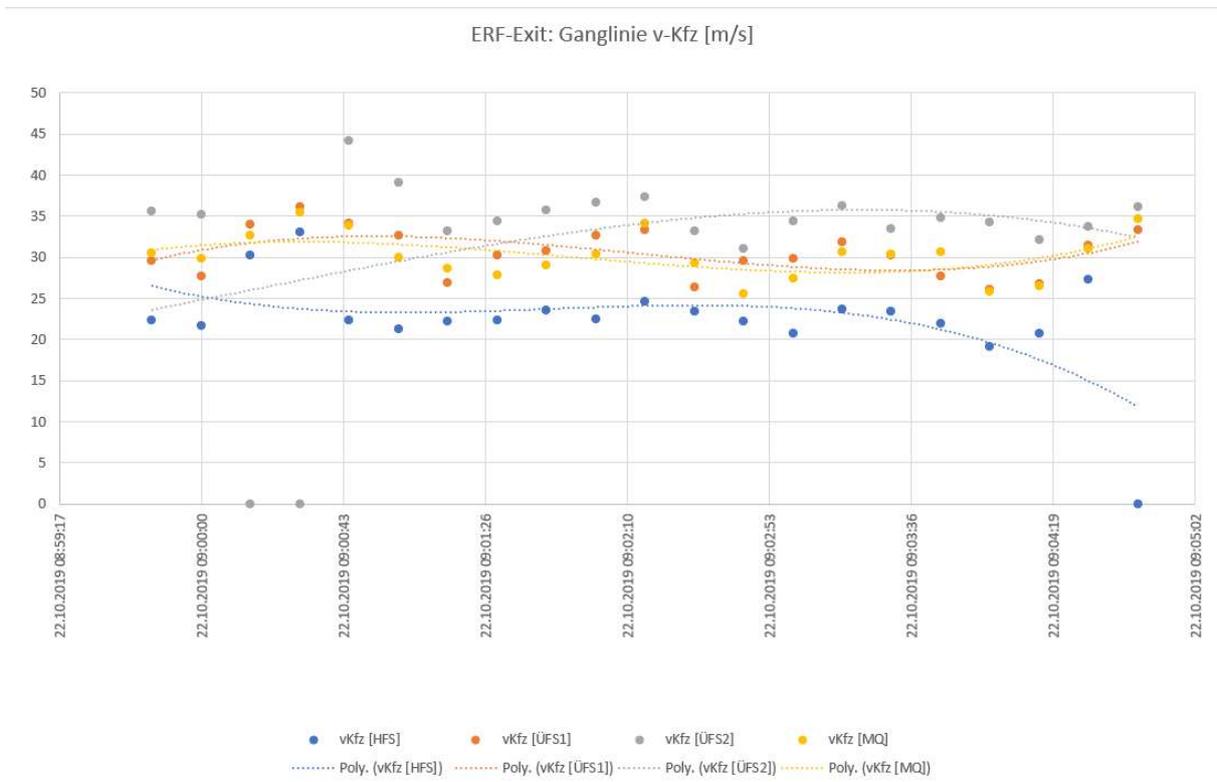
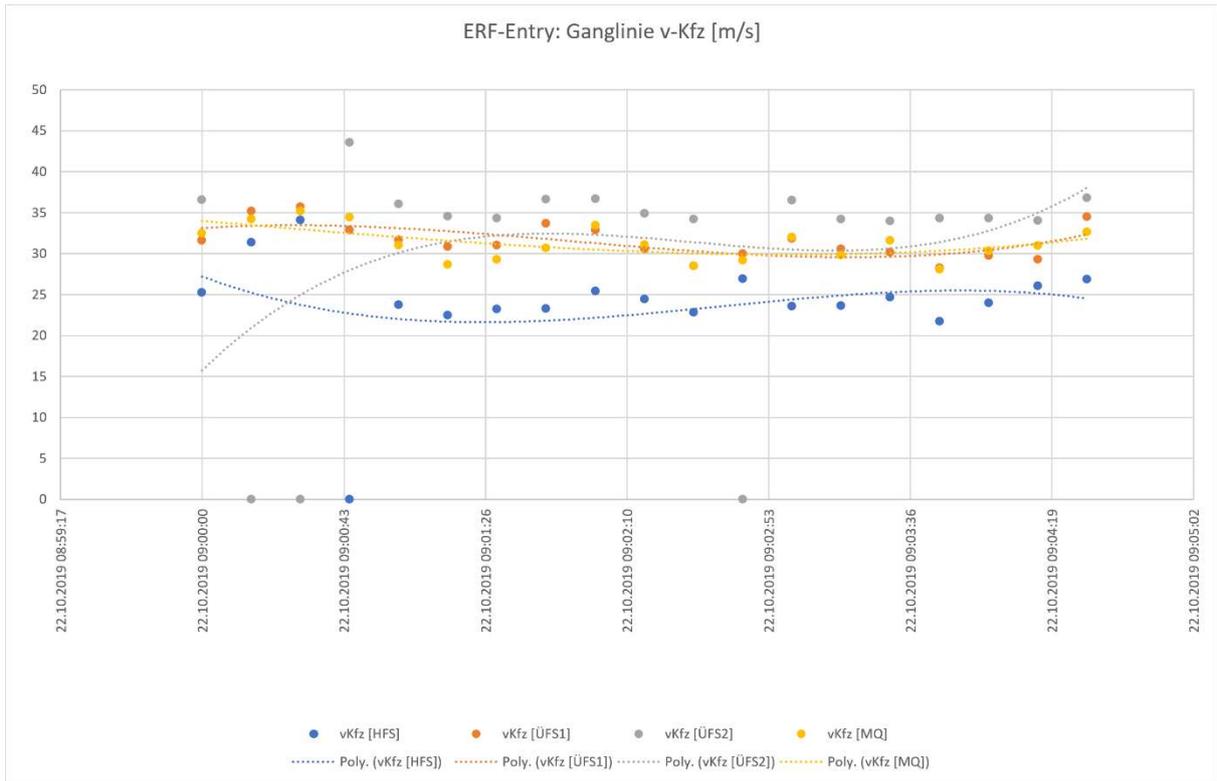


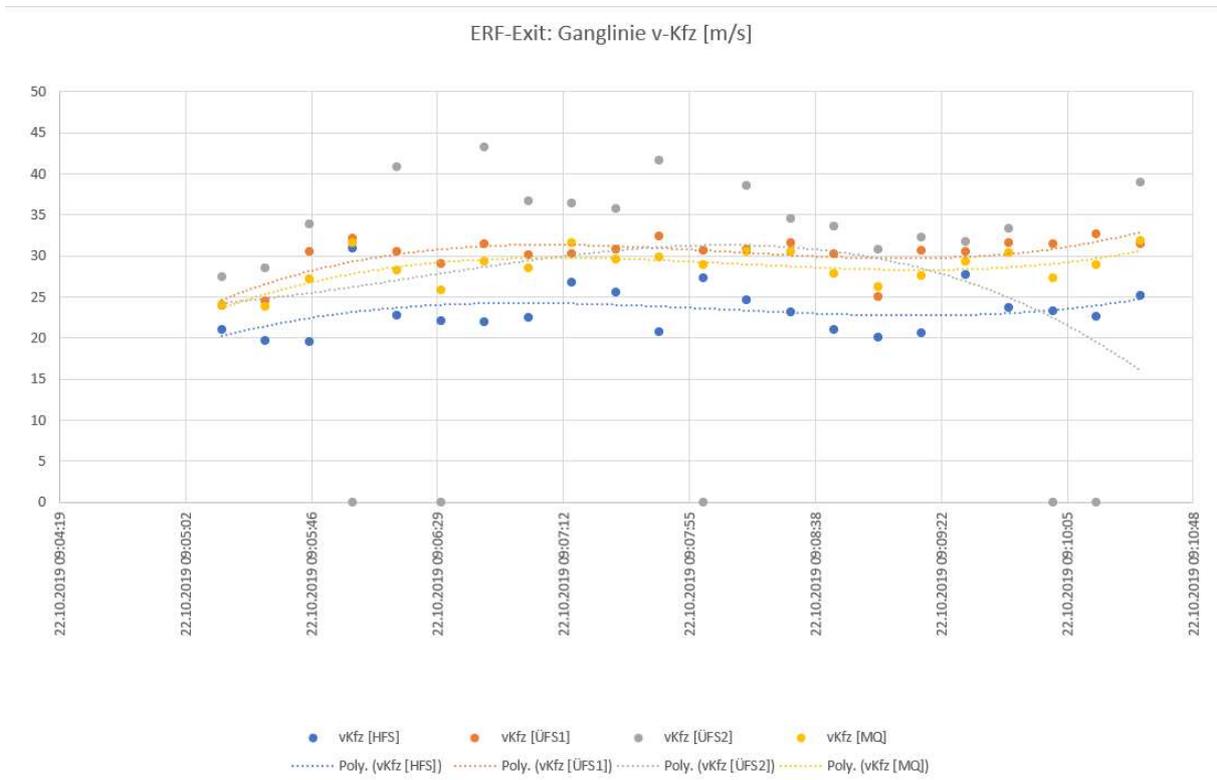
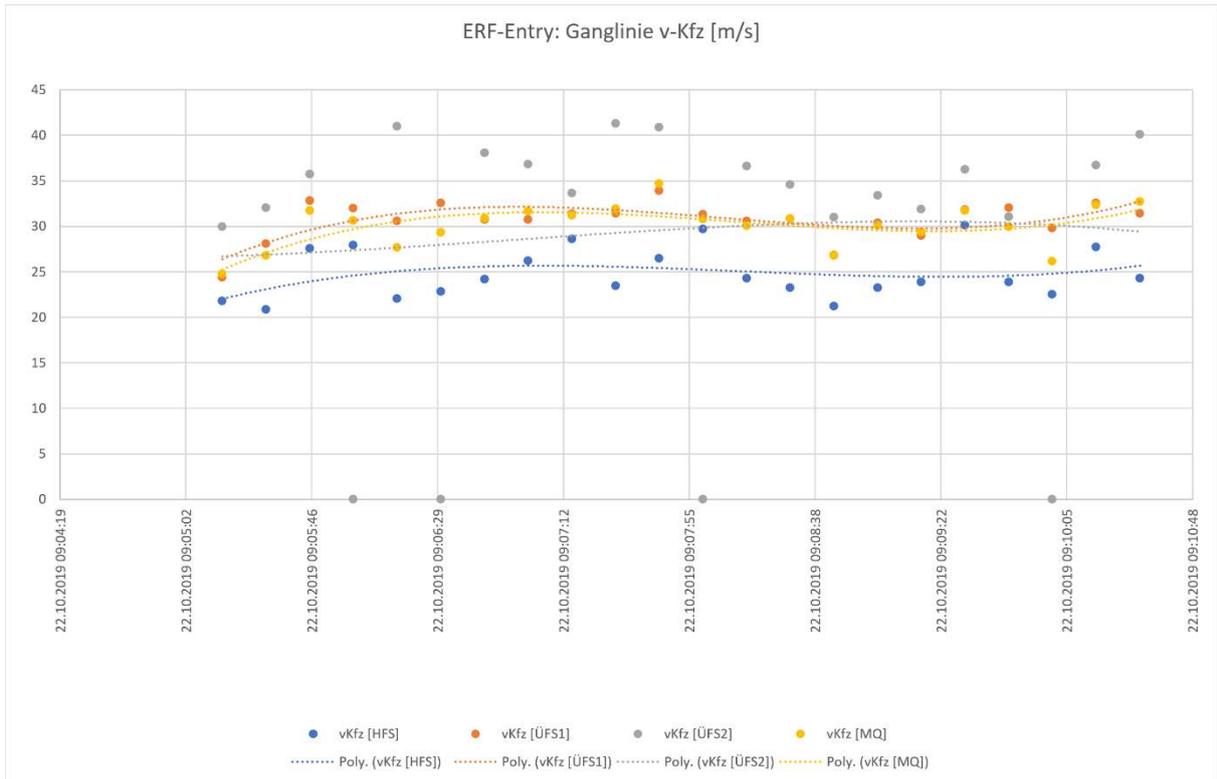


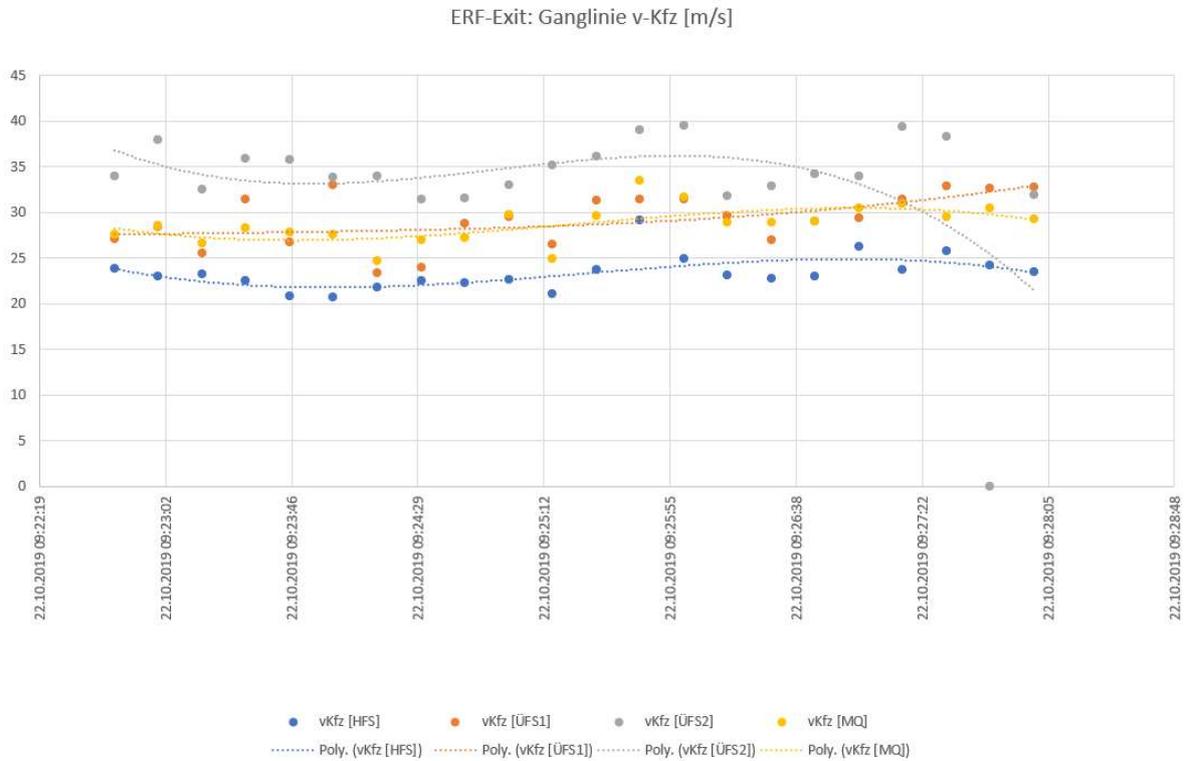
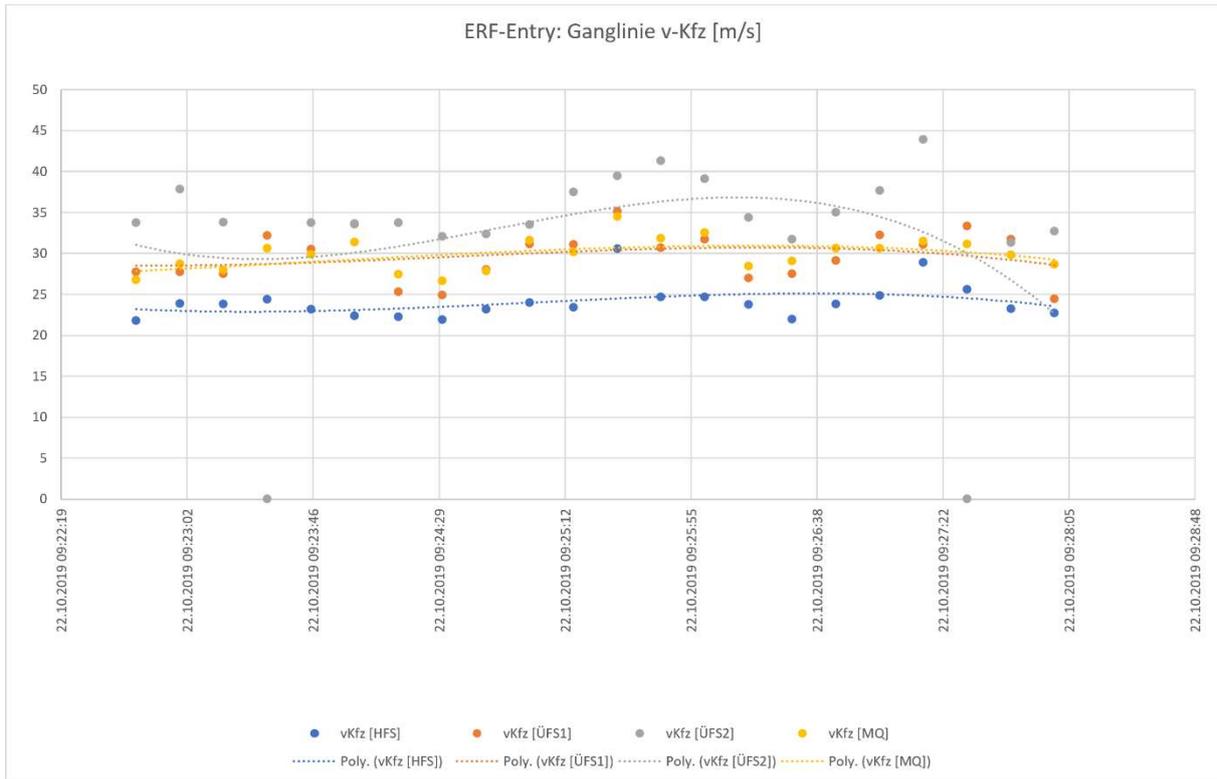


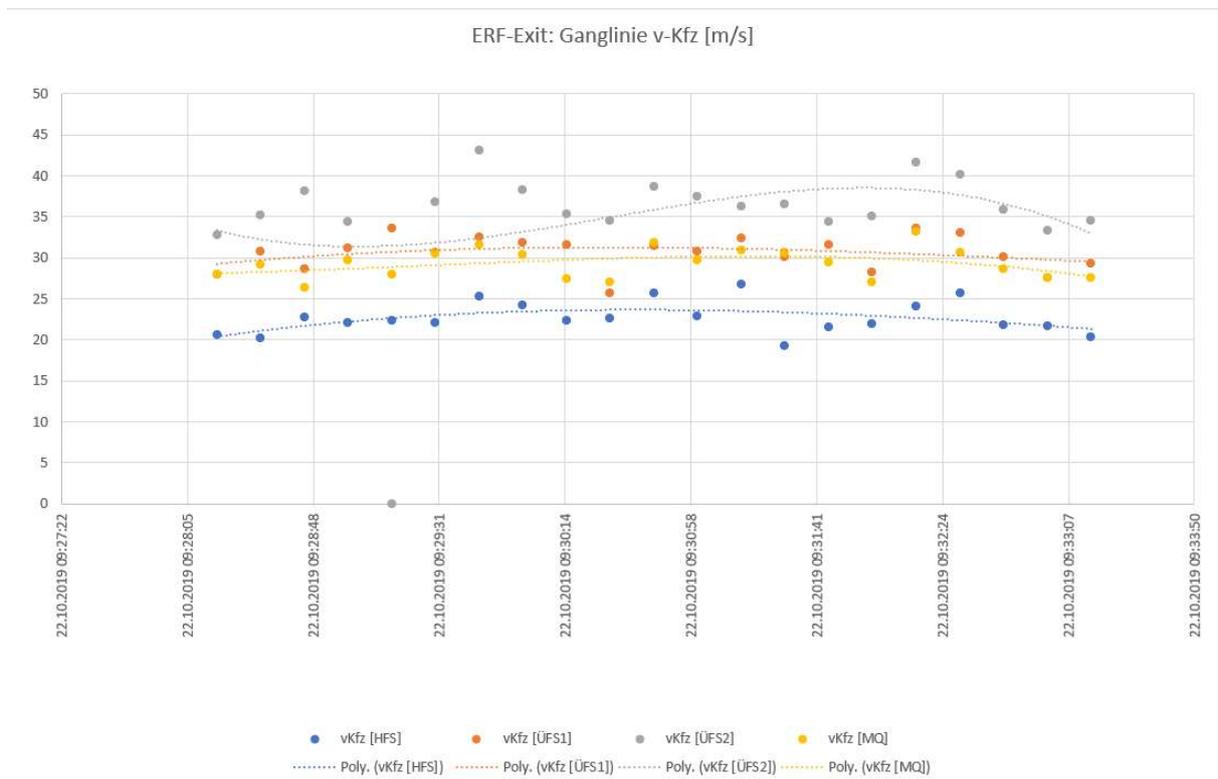
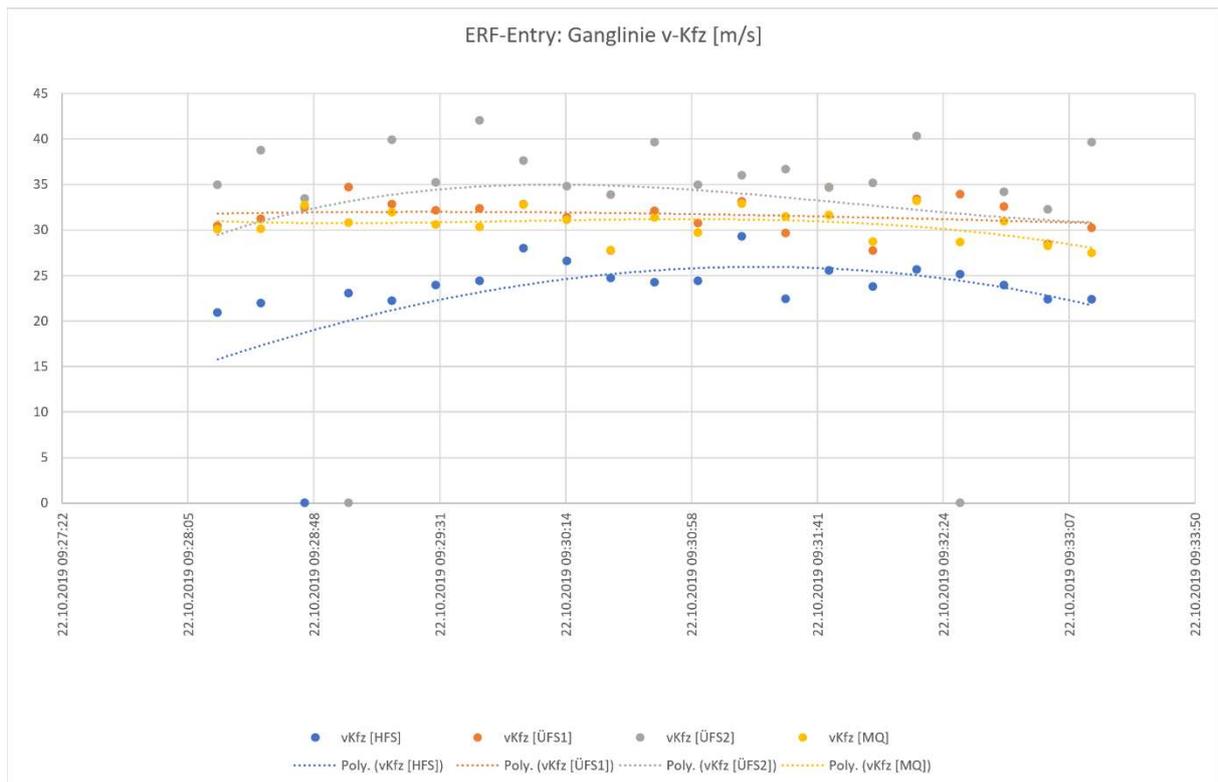








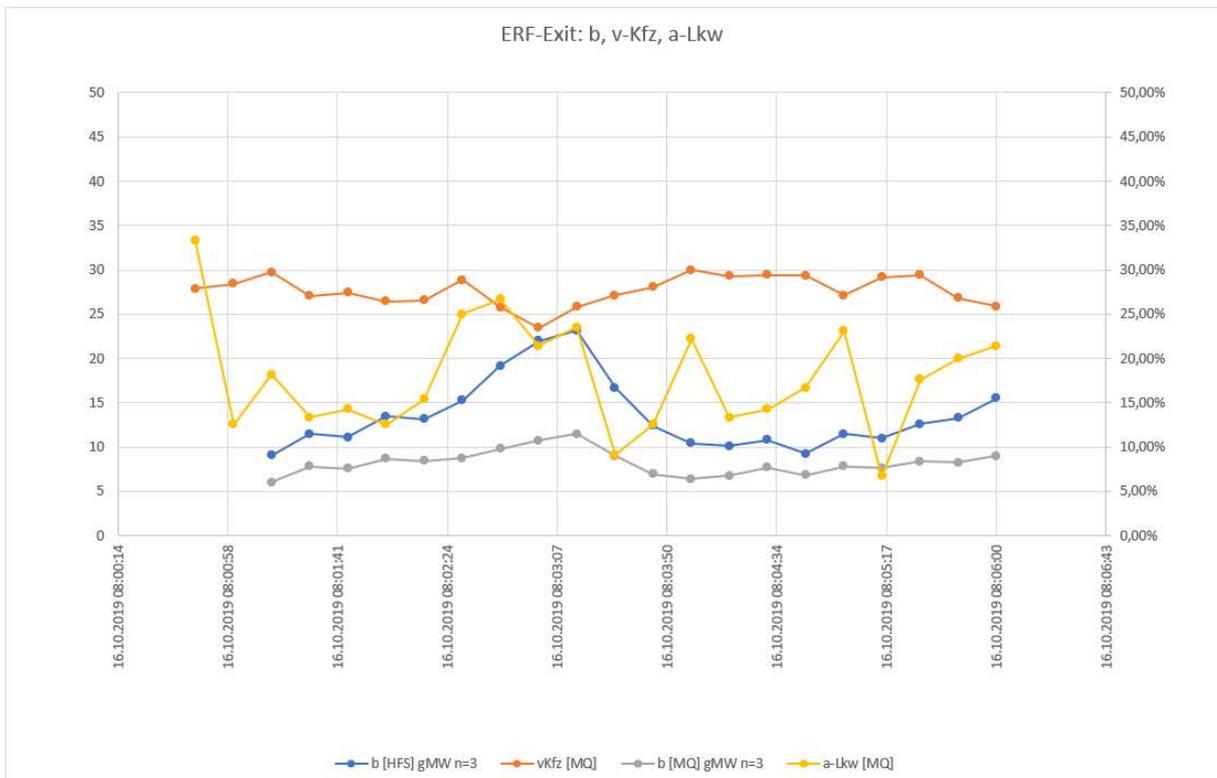
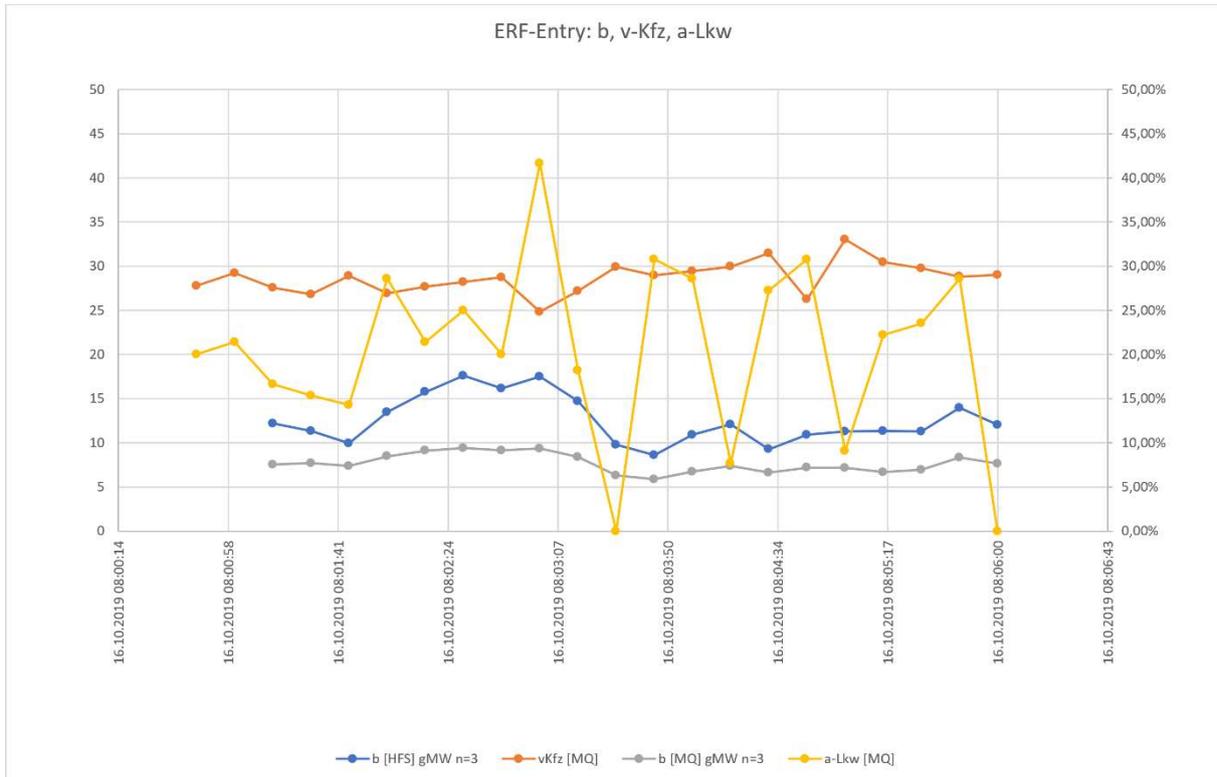




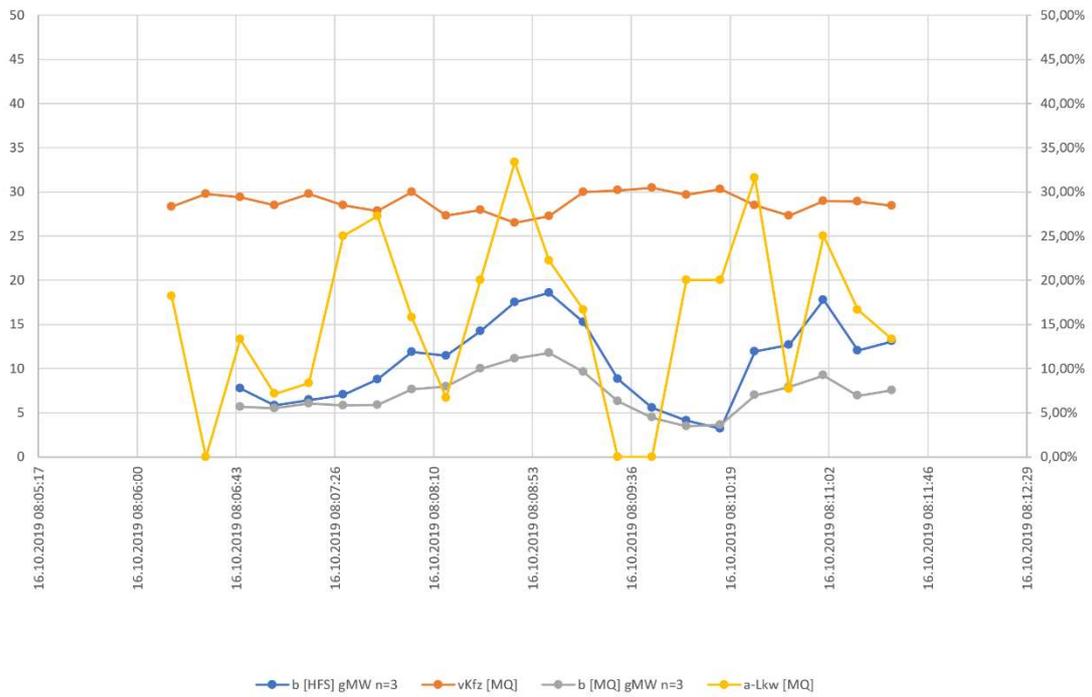
Teilfazit: Die vorstehenden Diagramme zeigen bei den zeitlichen Verläufen der Geschwindigkeiten je Fahrstreifen und als Summe (MQ), die Niveaus von Entry und Exit in der Regel nur unwesentlich voneinander abweichen. Auf dem HFS sind zumeist stabil 20m/s gegeben. Wenn es jedoch zu Einbrüchen der Geschwindigkeit kommt, fallen diese im Bereich des Exit stärker aus als beim Entry. Dem kann der Anlagentyp ZRA gezielt entgegenwirken und ggfs. restriktiver steuern.

Analyse Ganglinien $b_{HFS,gMW}$, $v_{Kfz,MQ}$, $b_{MQ,gMW}$ und $a_{Lkw,MQ}$ für Entry und Exit:

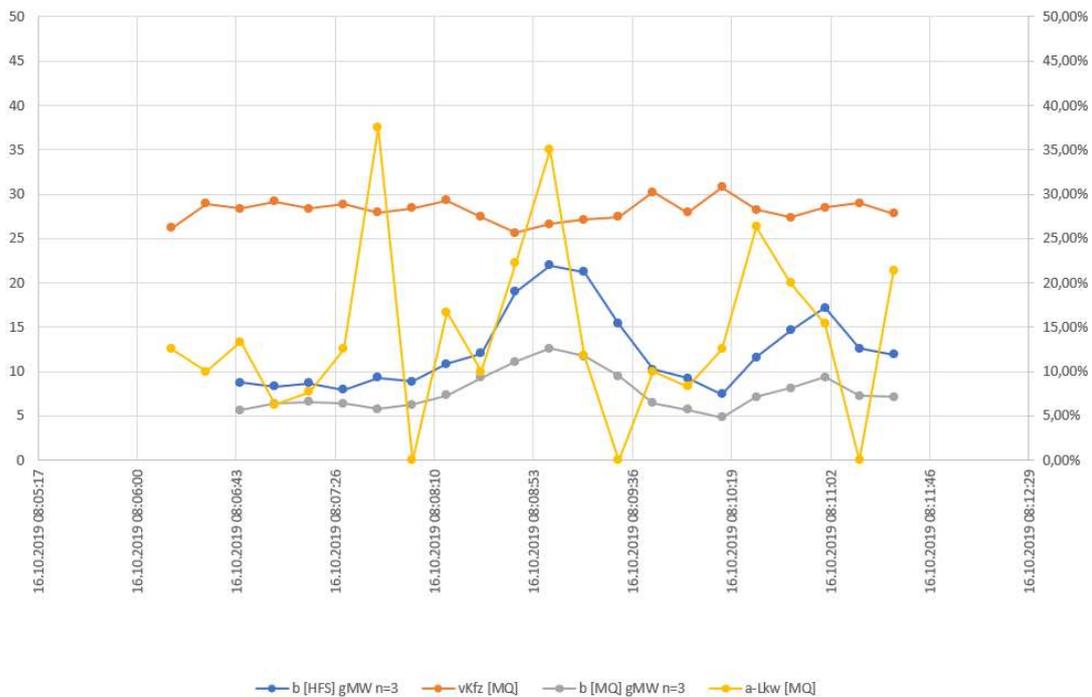
Hinweis: a_{Lkw} = Lkw-Anteil [%] bezogen auf den MQ (d.h. alle 3 Fahrstreifen)

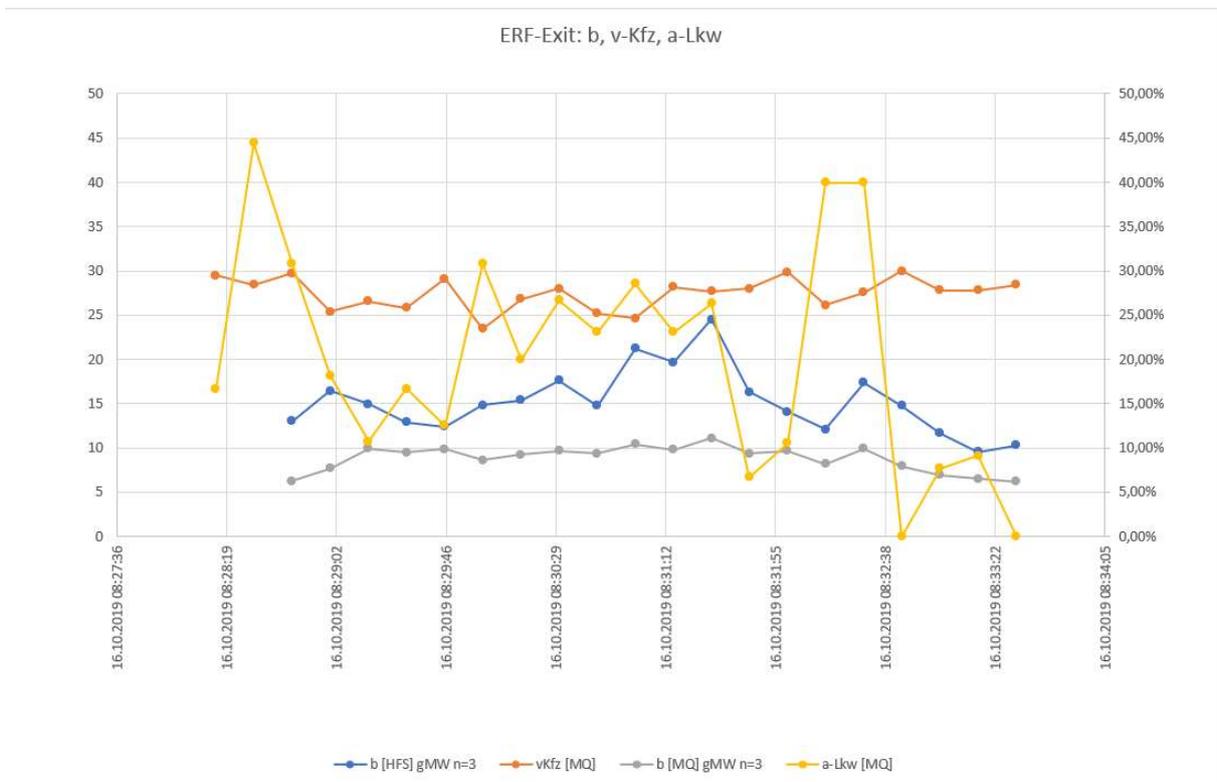
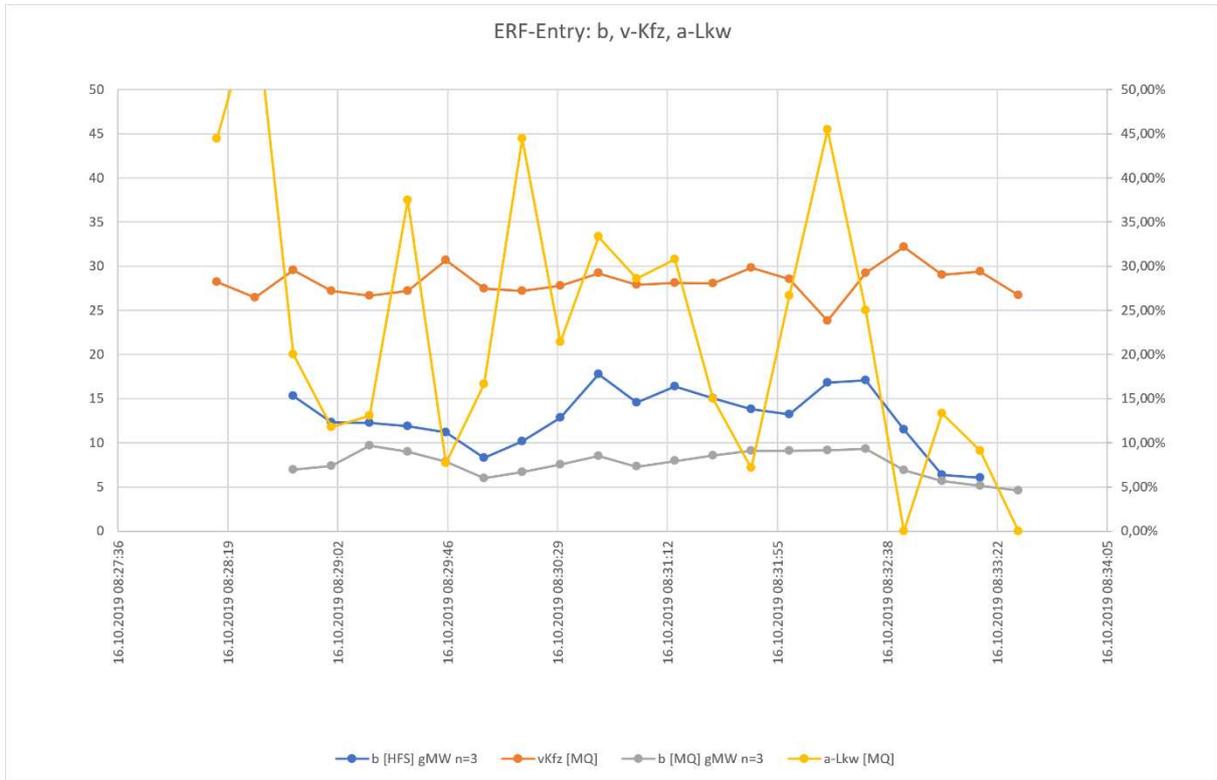


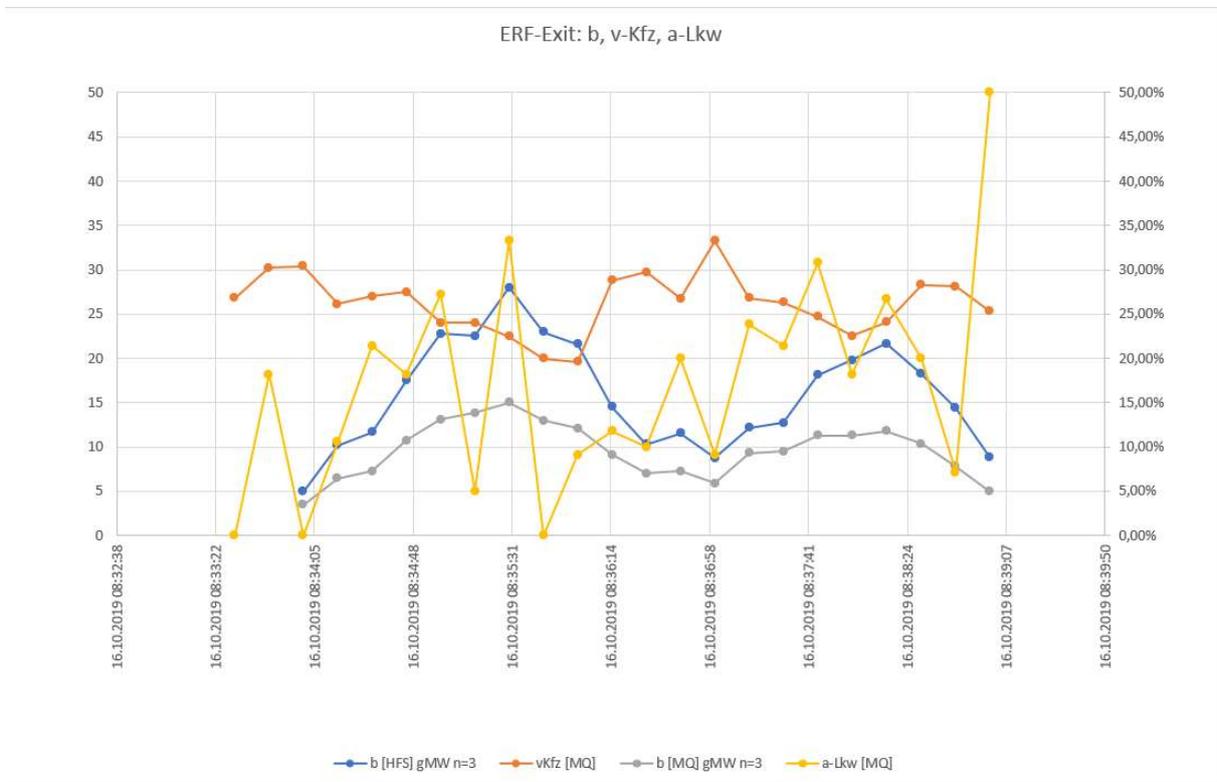
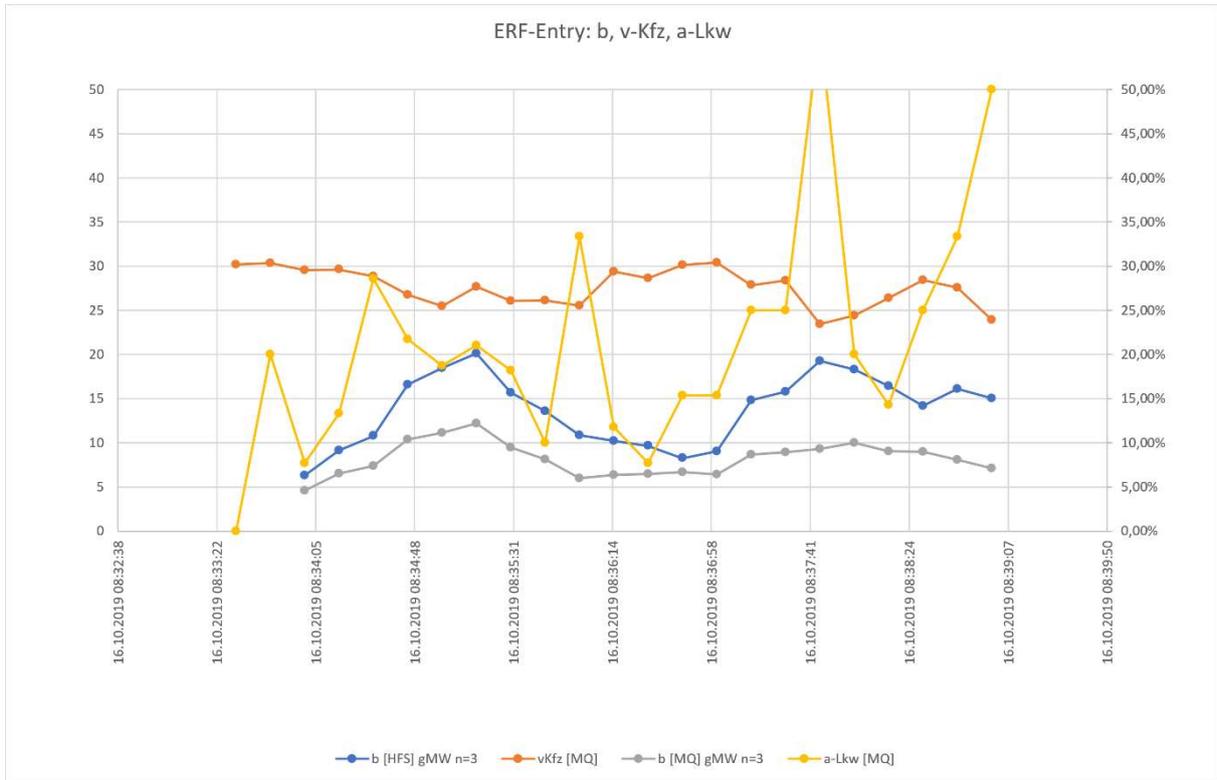
ERF-Entry: b, v-Kfz, a-Lkw

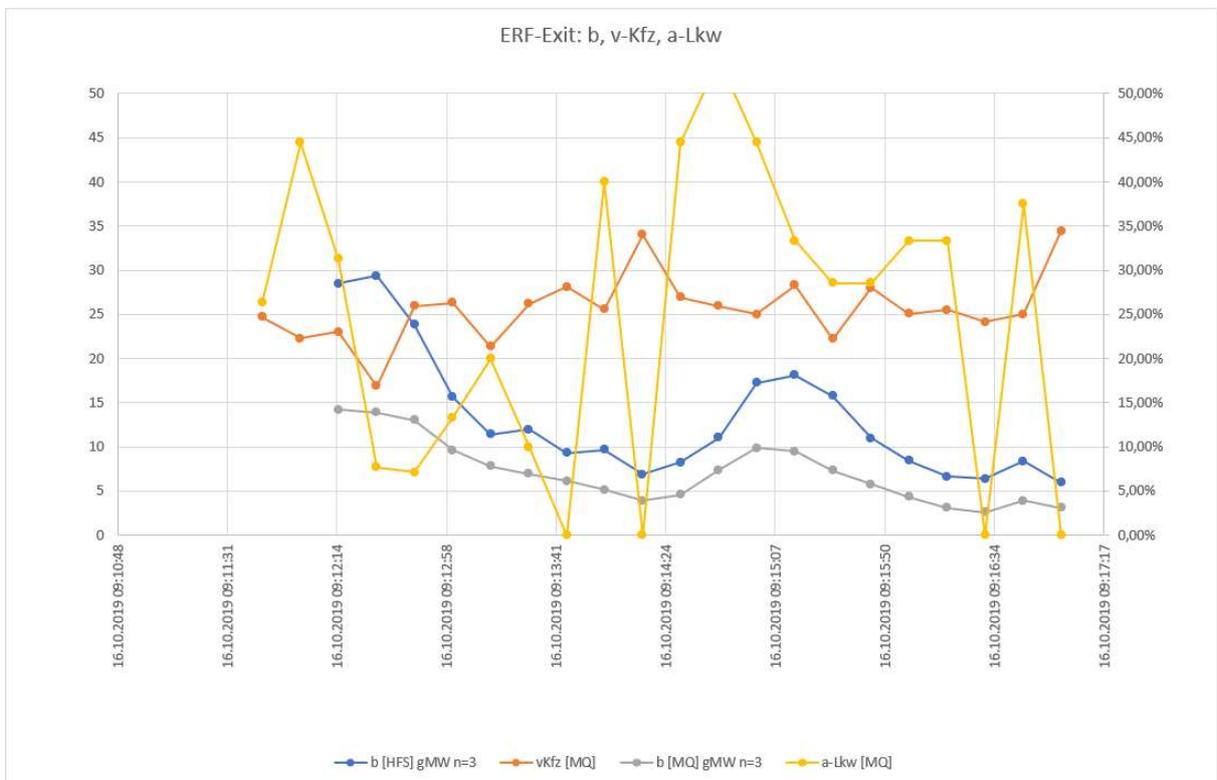
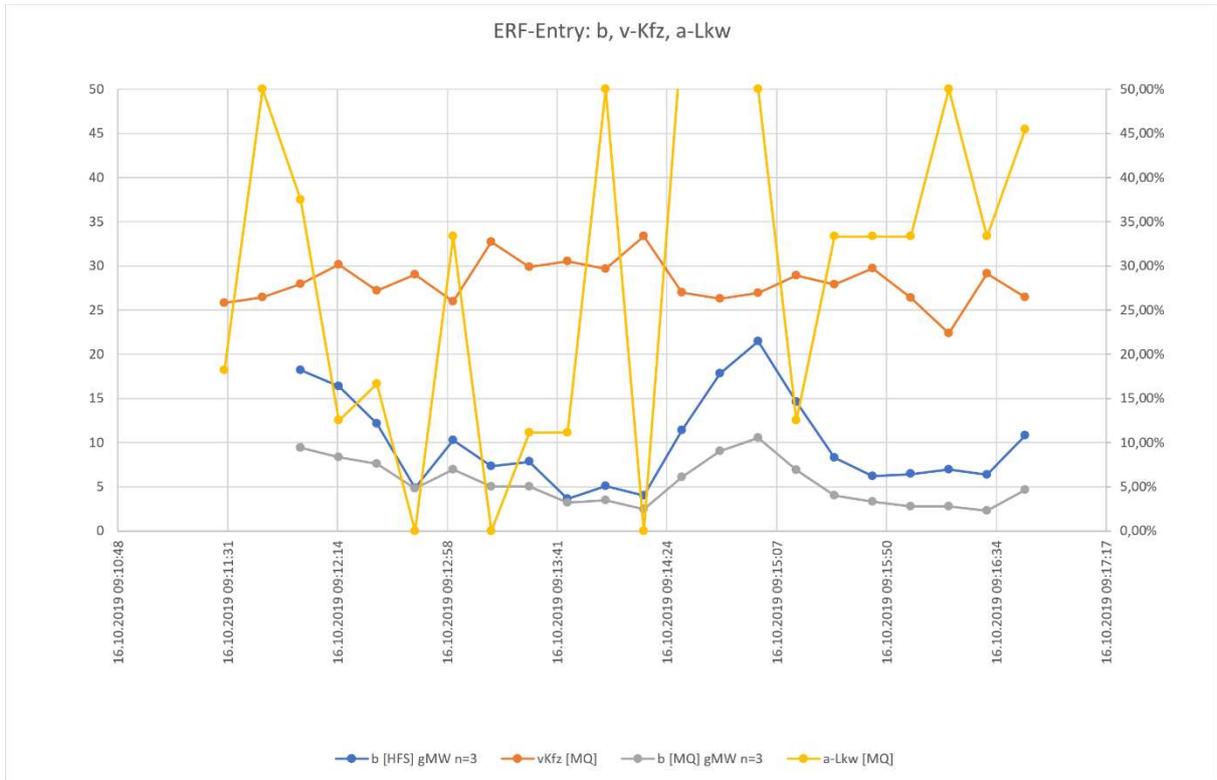


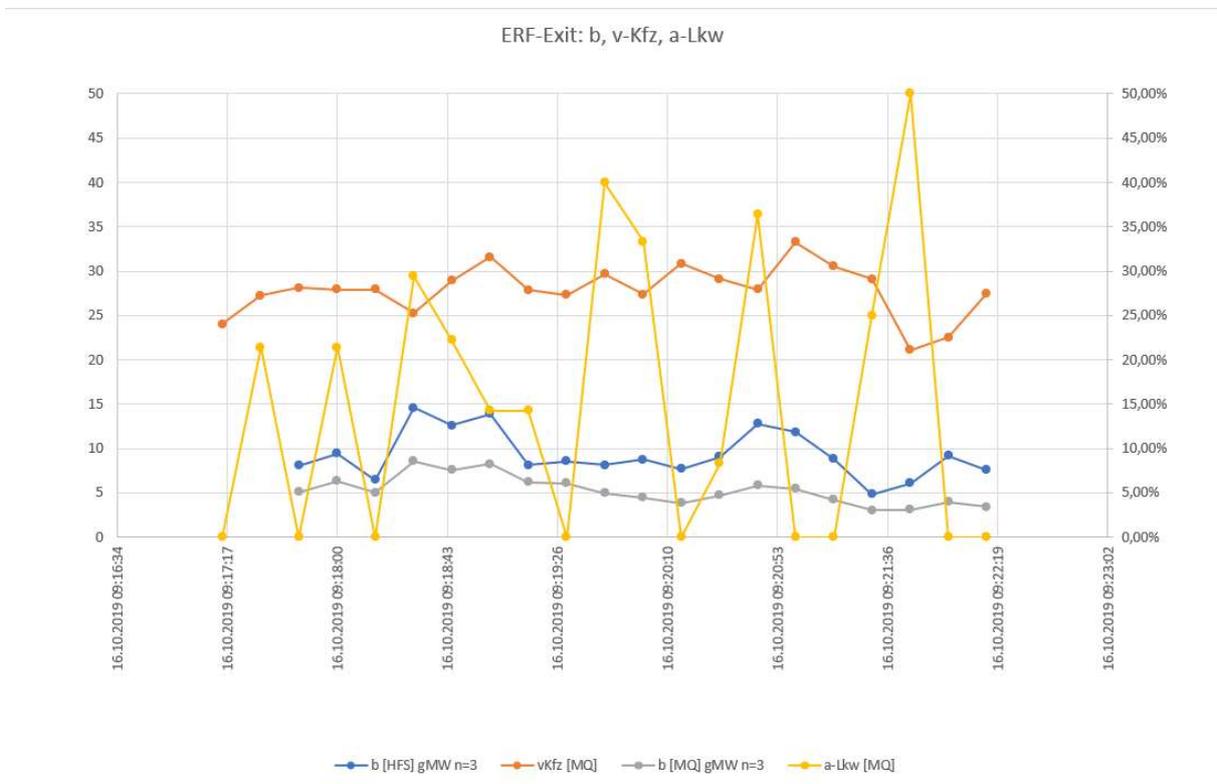
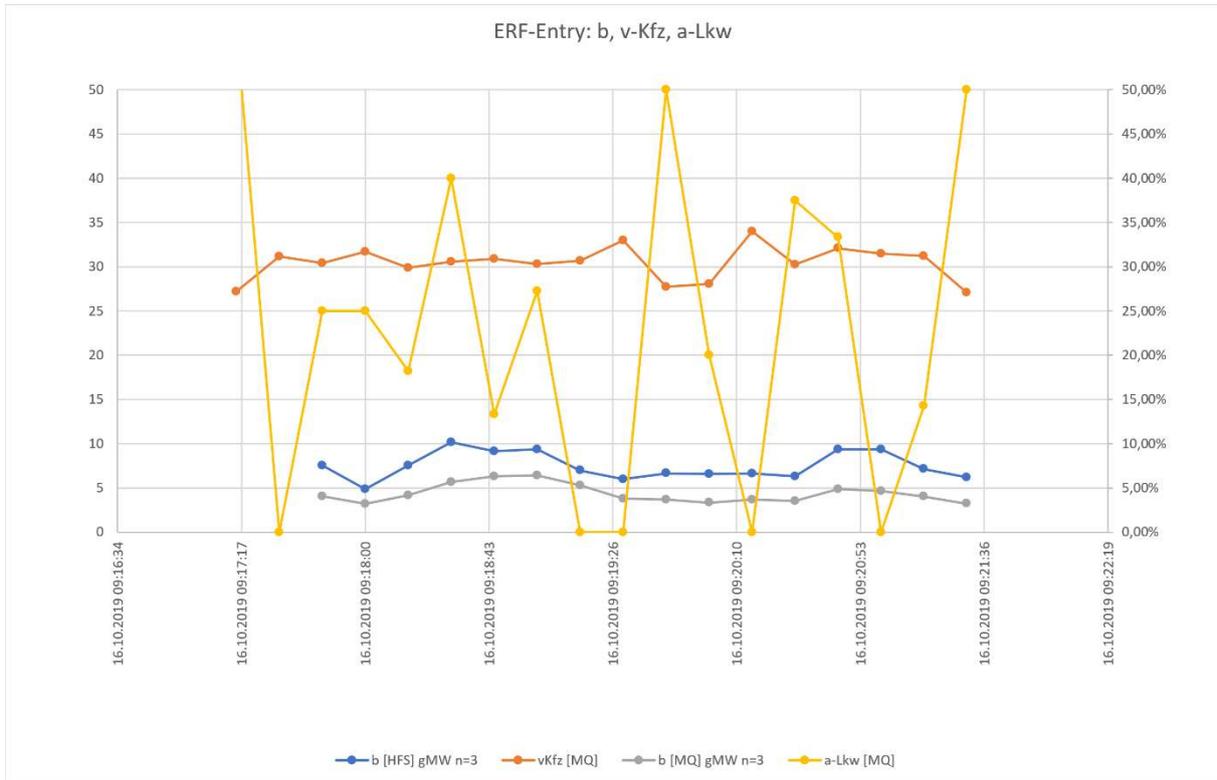
ERF-Exit: b, v-Kfz, a-Lkw



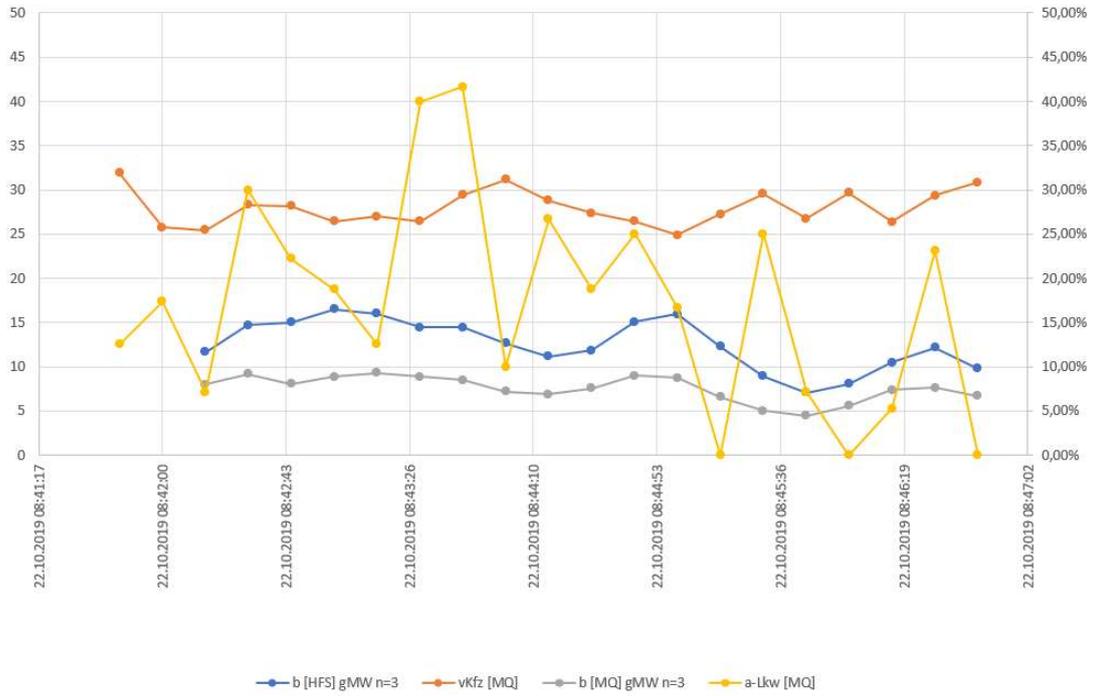




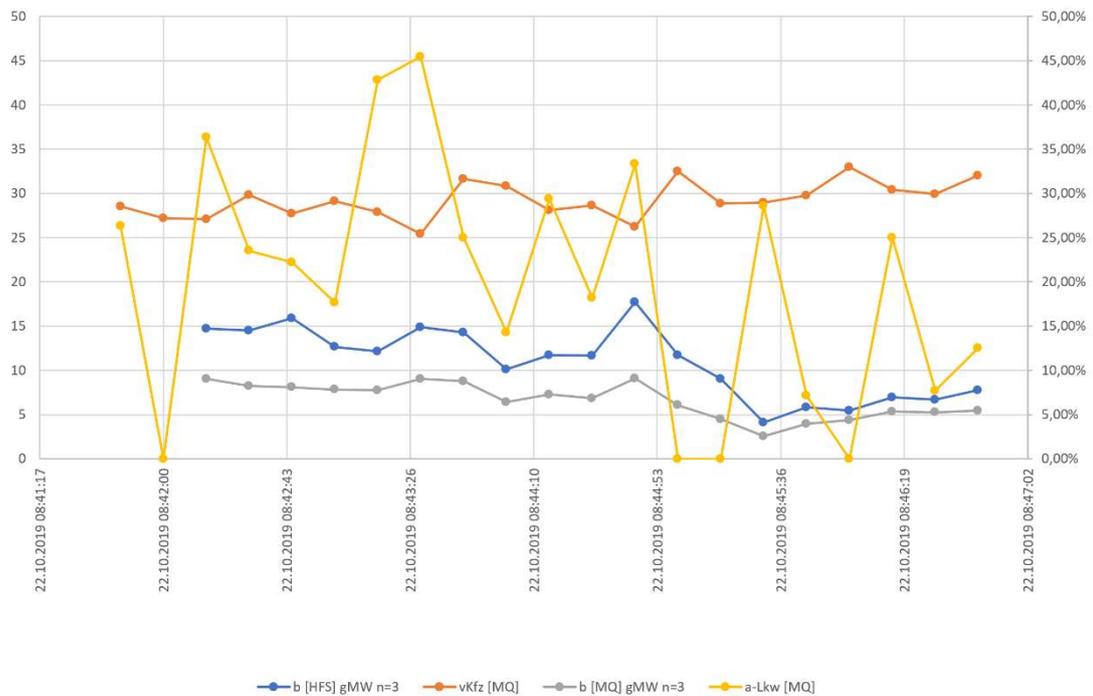




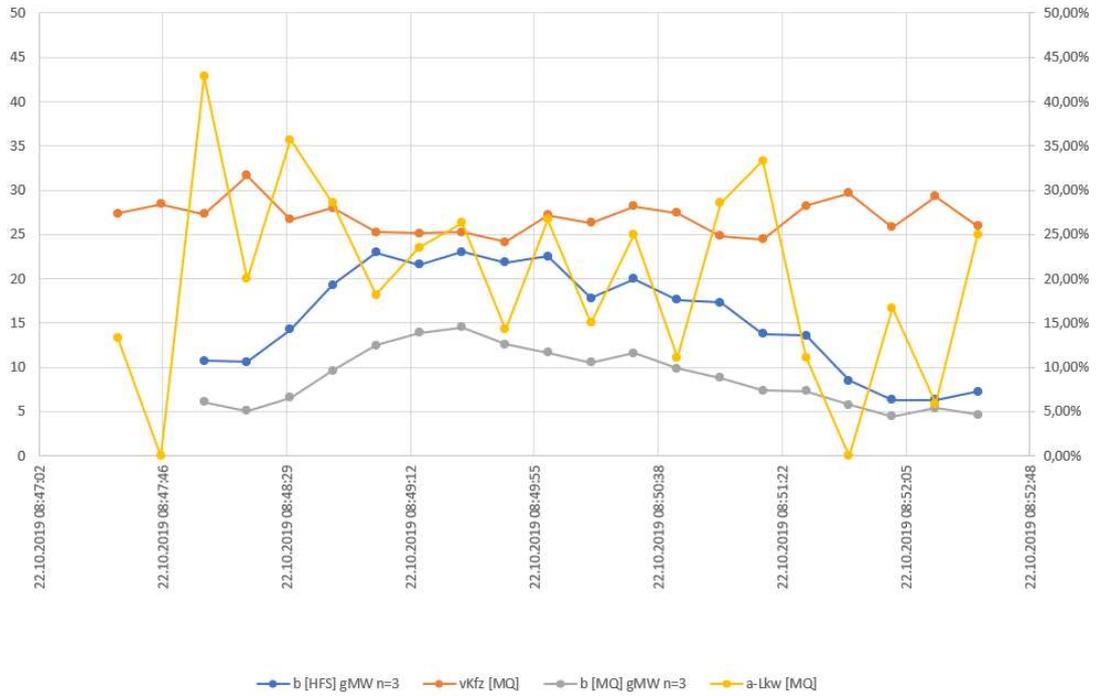
ERF-Exit: b, v-Kfz, a-Lkw



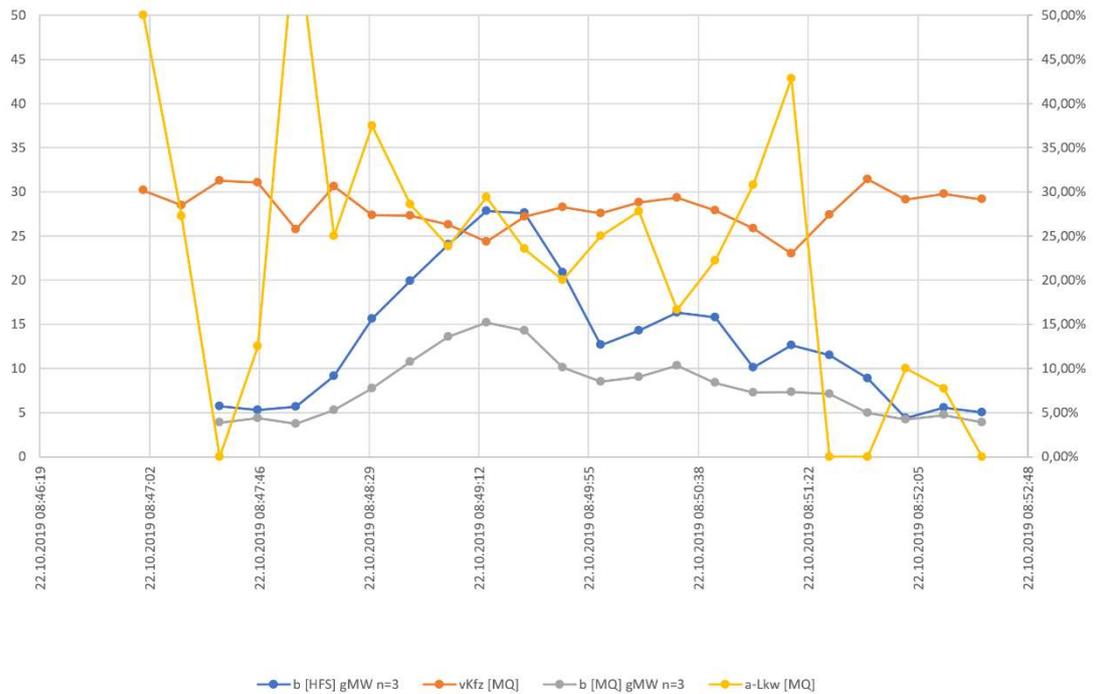
ERF-Entry: b, v-Kfz, a-Lkw

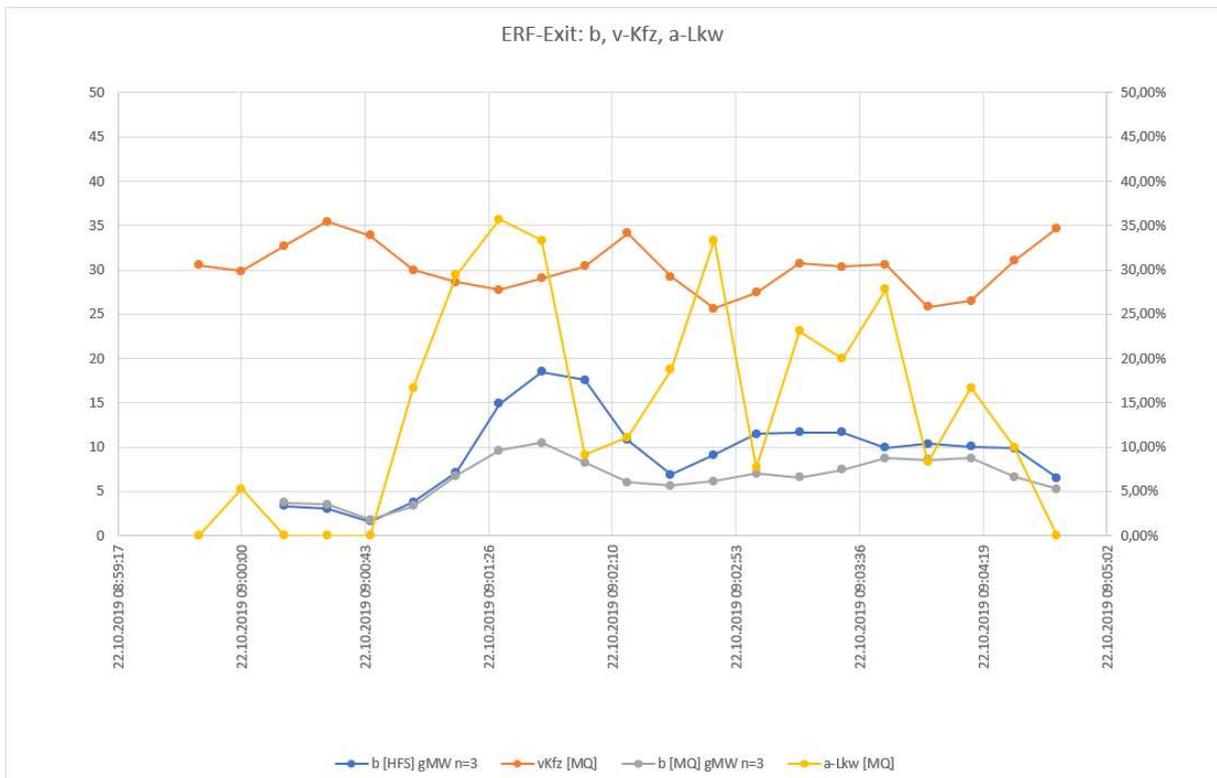
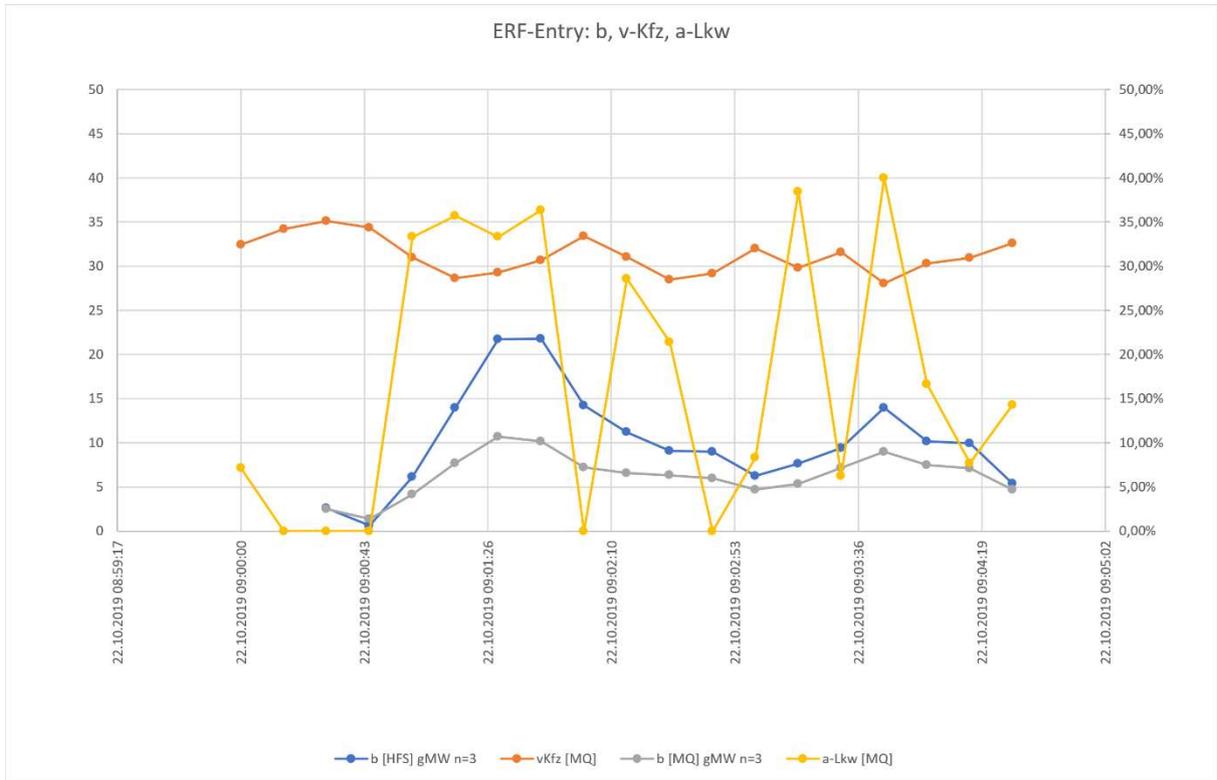


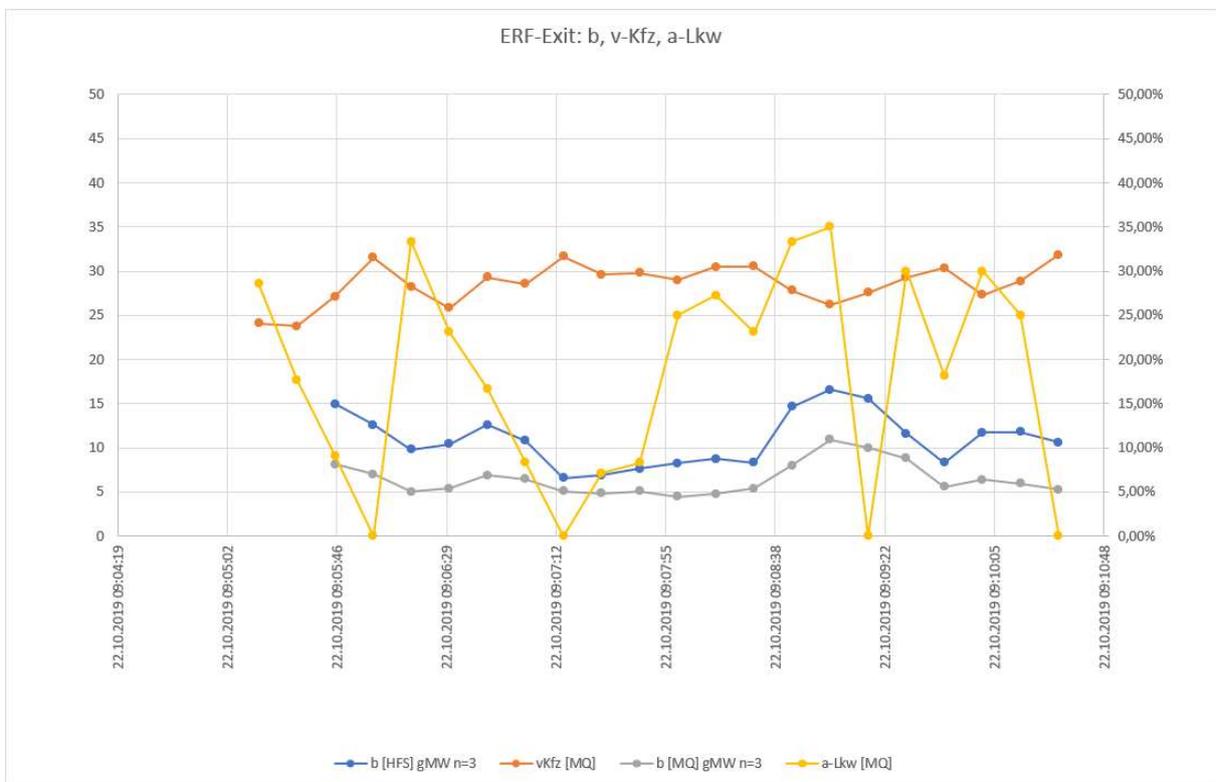
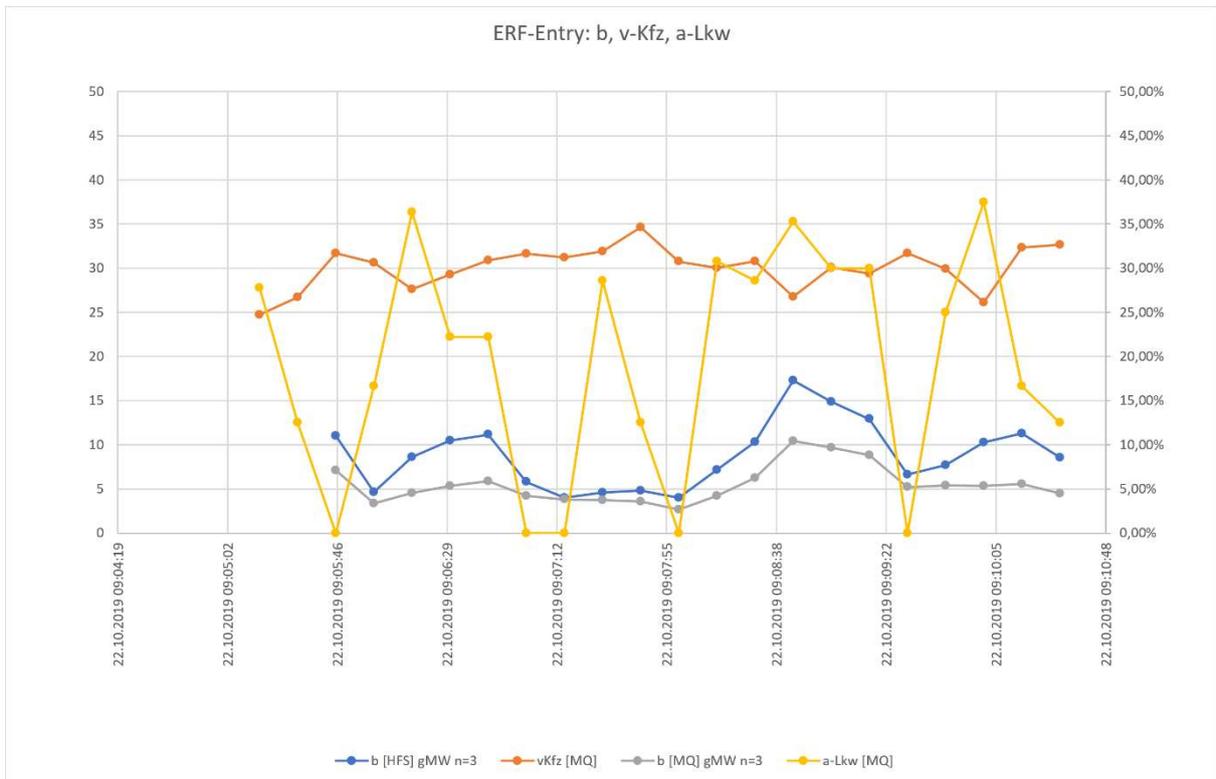
ERF-Exit: b, v-Kfz, a-Lkw

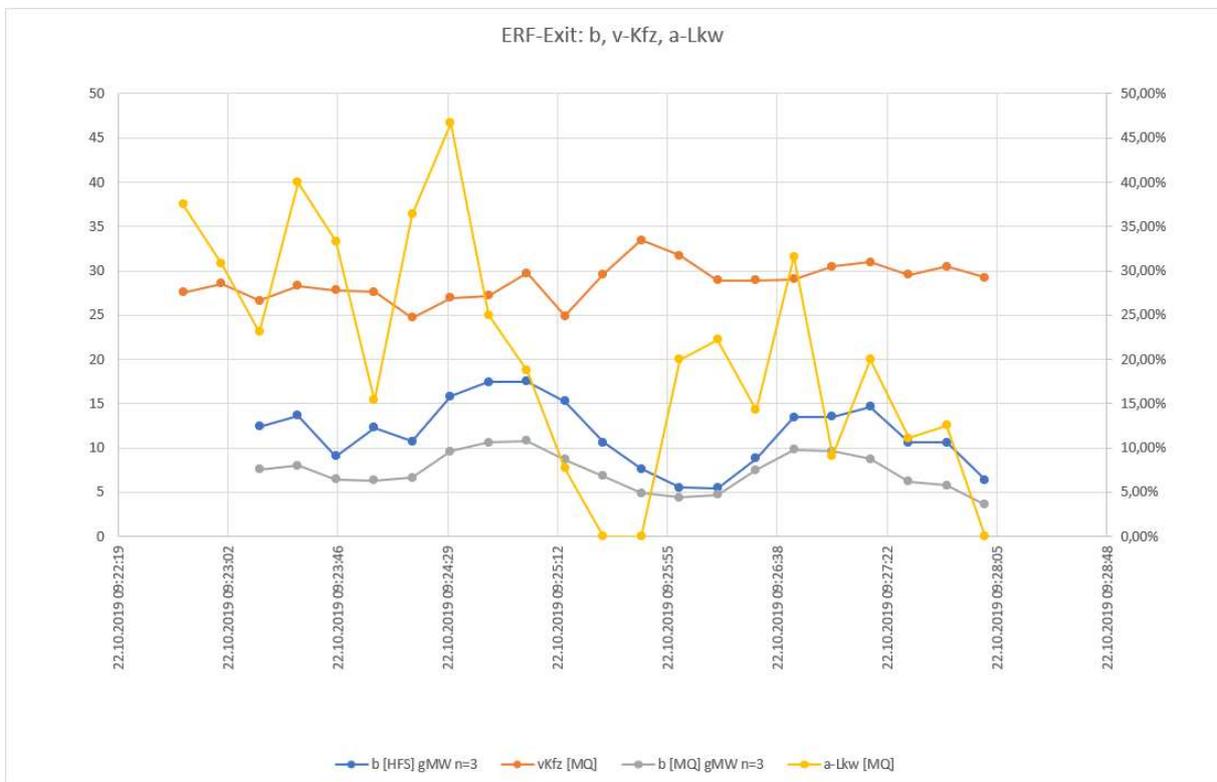
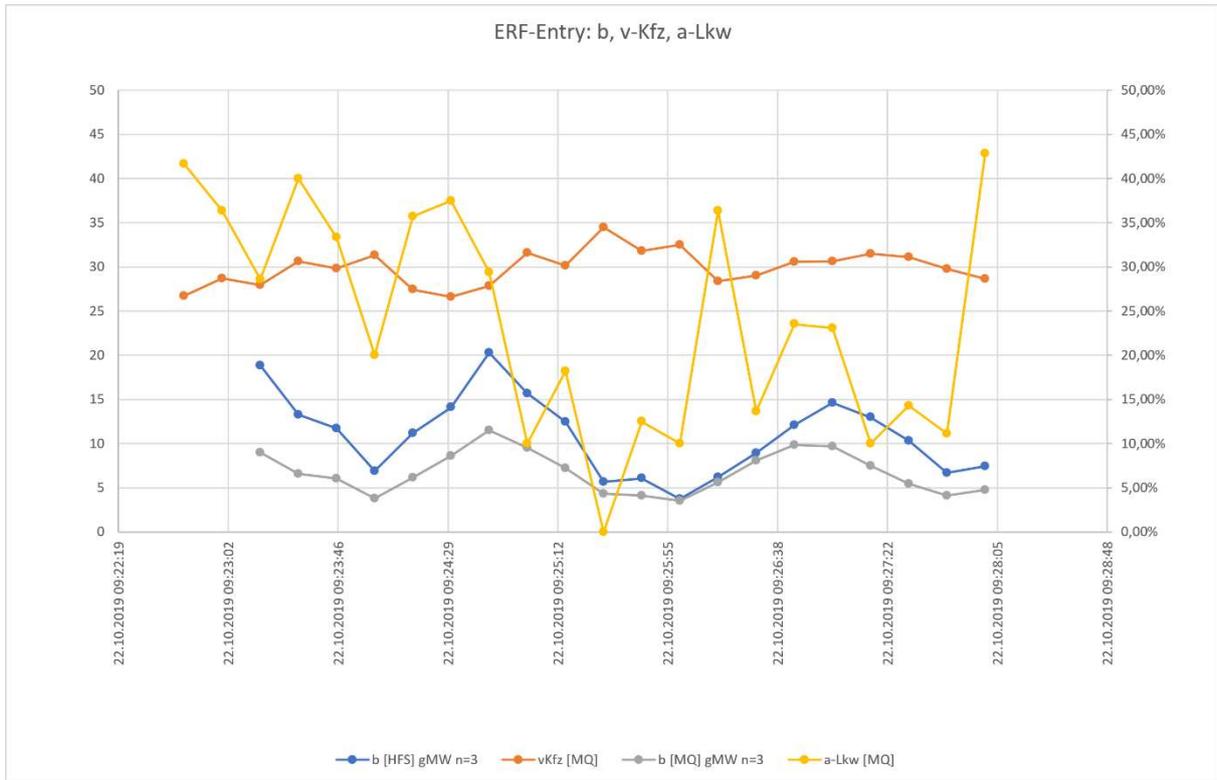


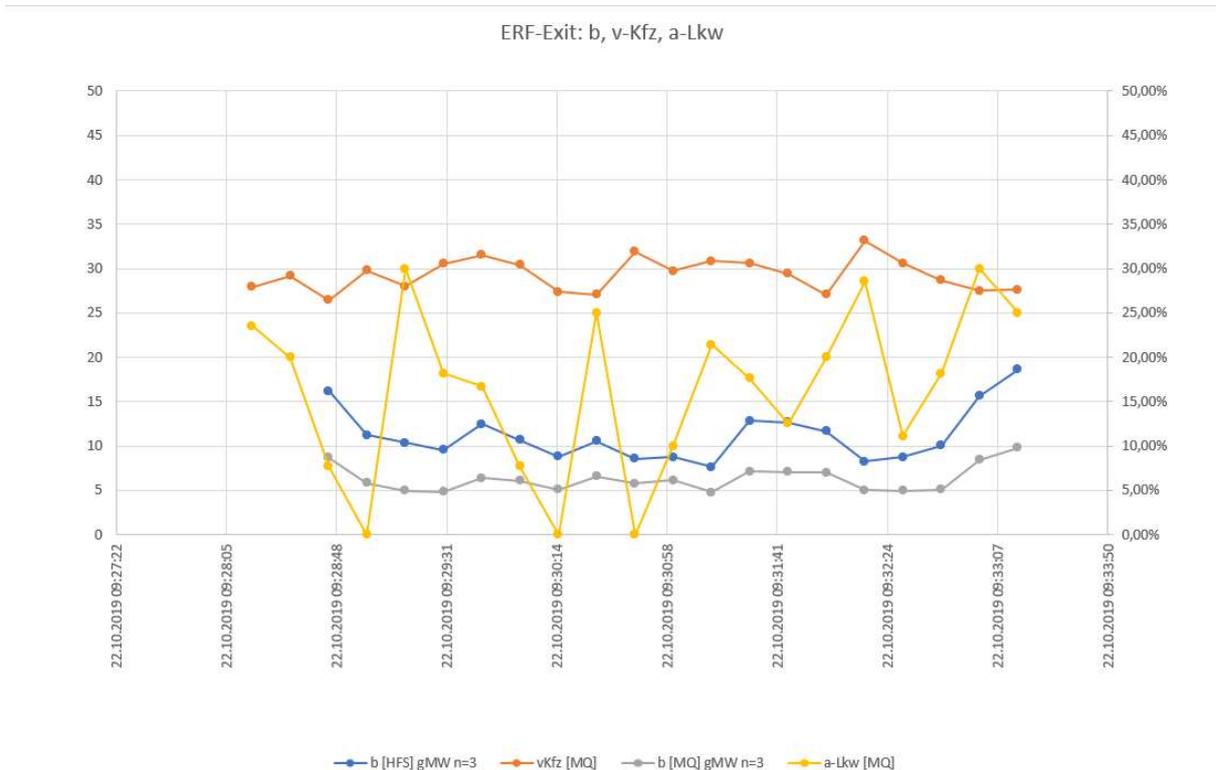
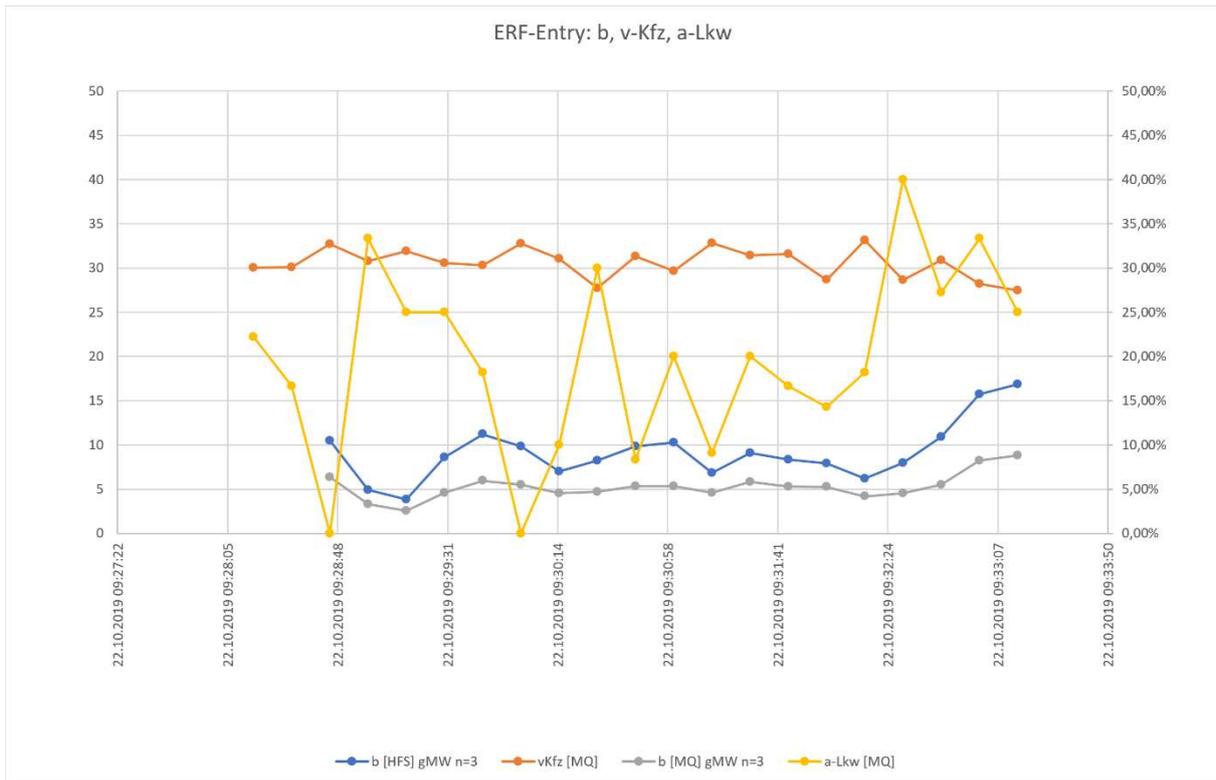
ERF-Entry: b, v-Kfz, a-Lkw





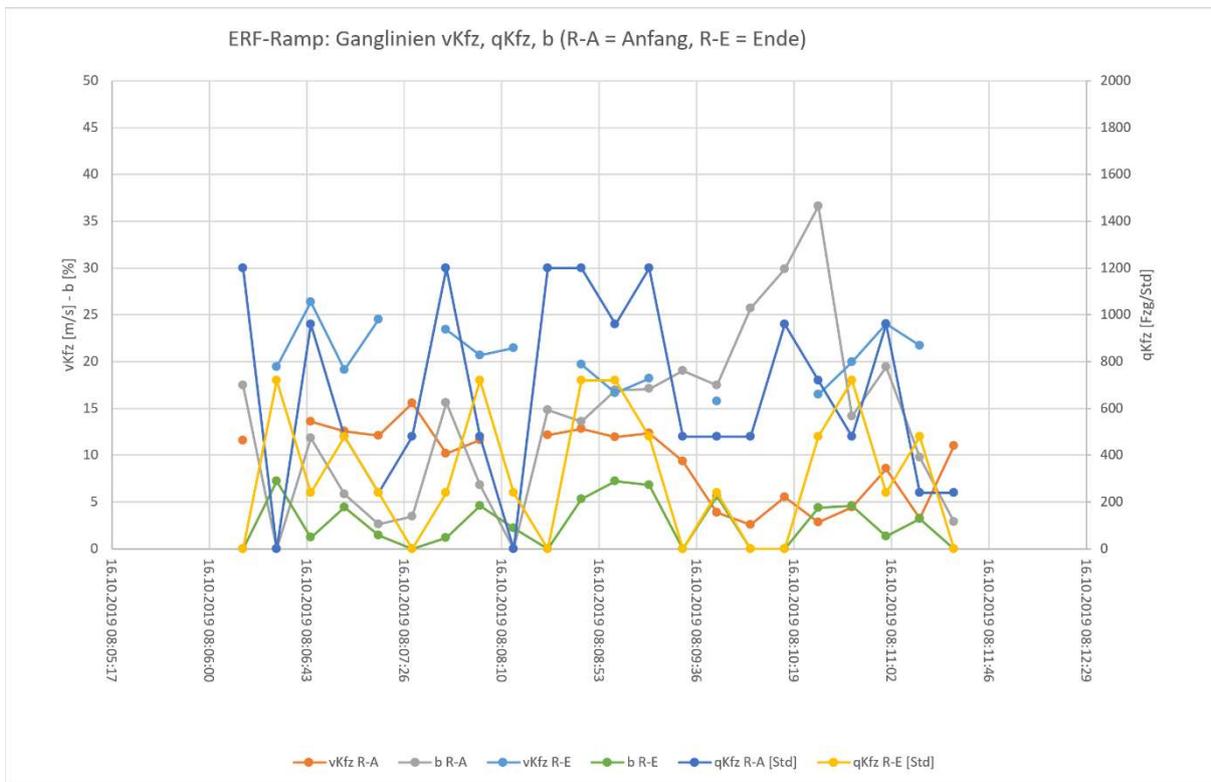
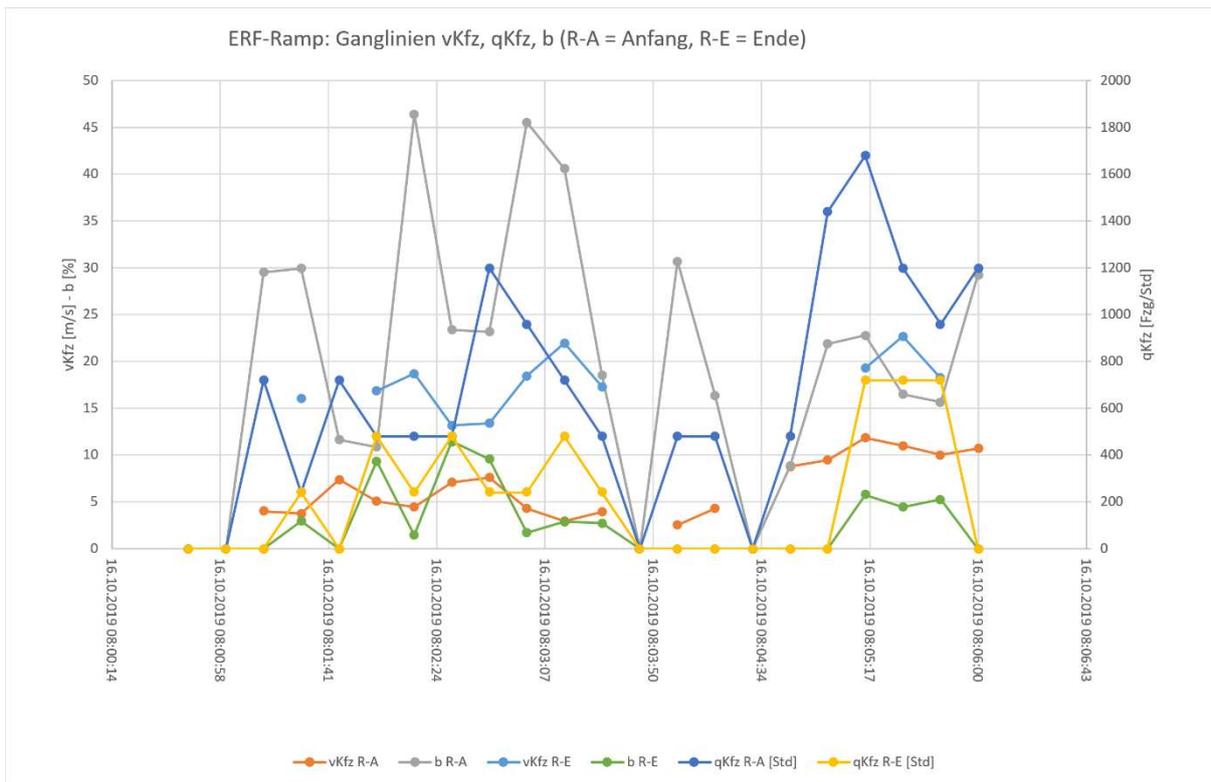


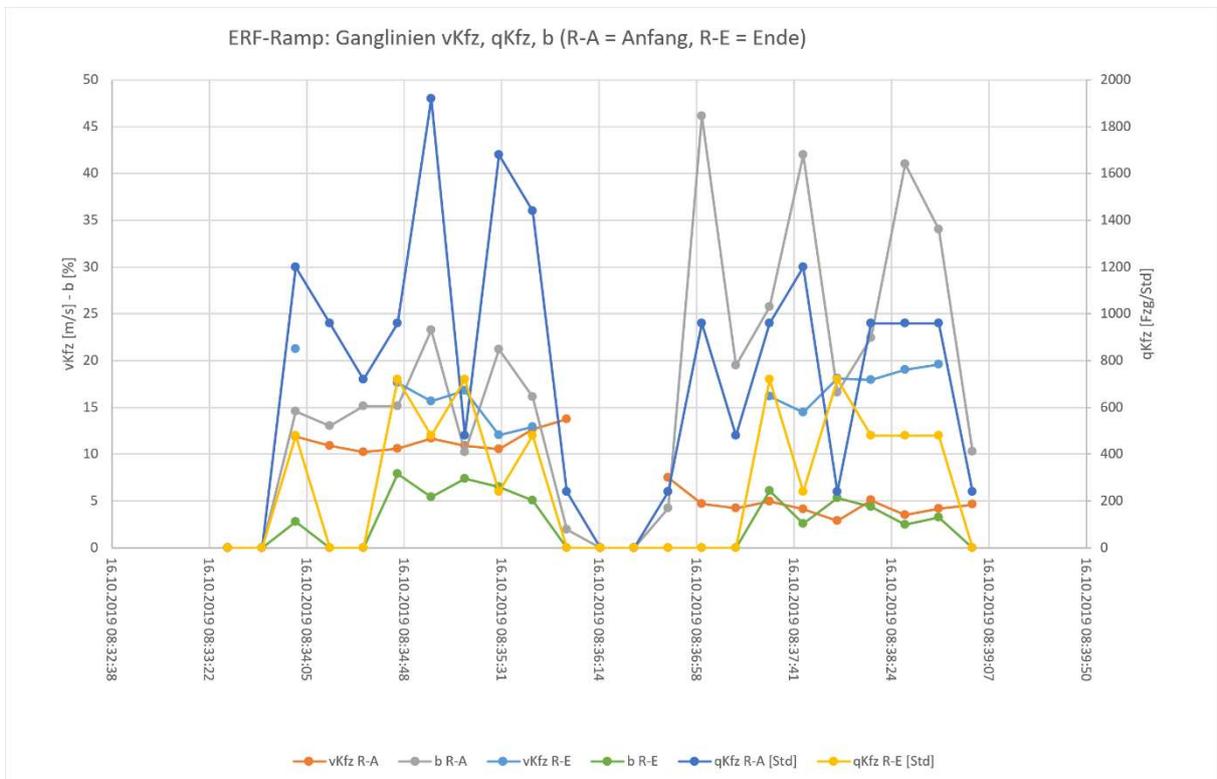
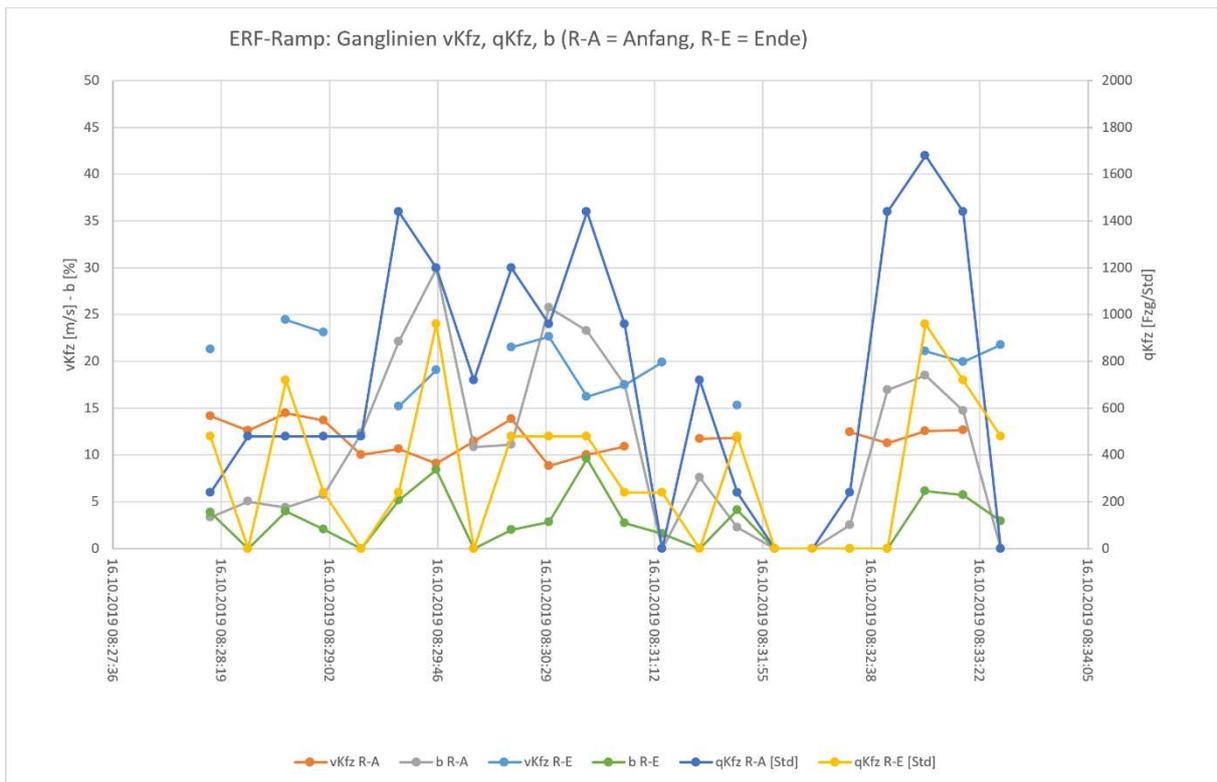




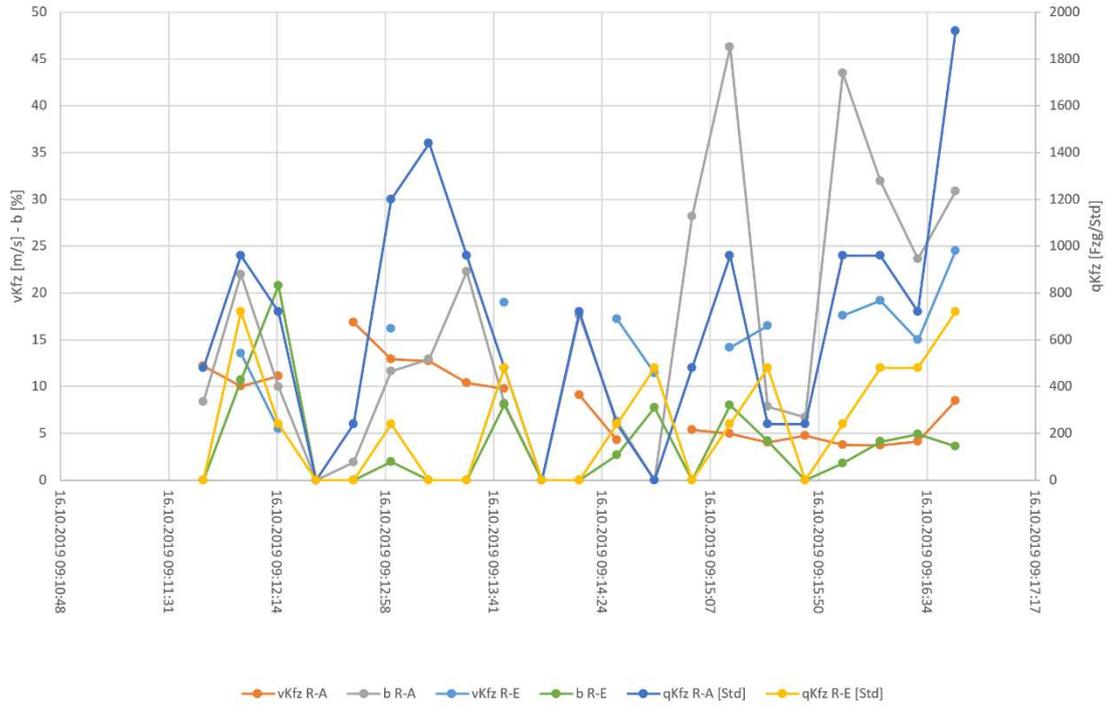
Teilfazit: Die vorstehenden Diagramme zeigen bei den zeitlichen Verläufen zunächst, dass der Lkw-Anteil (bezogen auf den MQ d.h. alle 3 FS) einerseits stark schwankt bei den zugrunde gelegten 15s-Intervallen und mit häufig 30-50% (bezogen auf ein Einzelintervall) sehr hoch liegt. In Verbindung mit dem über die VBA nach Auskunft des Betreibers geschalteten Lkw-Überholverbot resultieren hohe Belegungen insbesondere auf dem HFS, die der Wirksamkeit der ZRA entgegenwirken.

Analyse Ganglinien vKfz, b und vKfz, für Rampenanfang (R-A) und -ende (R-E):

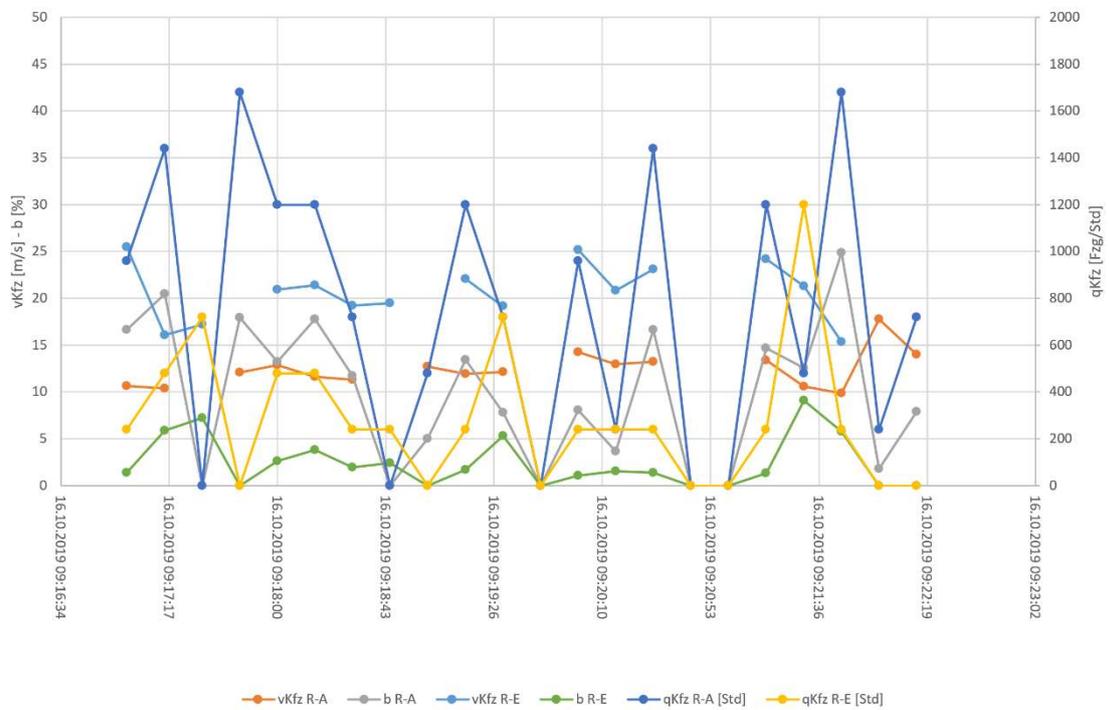


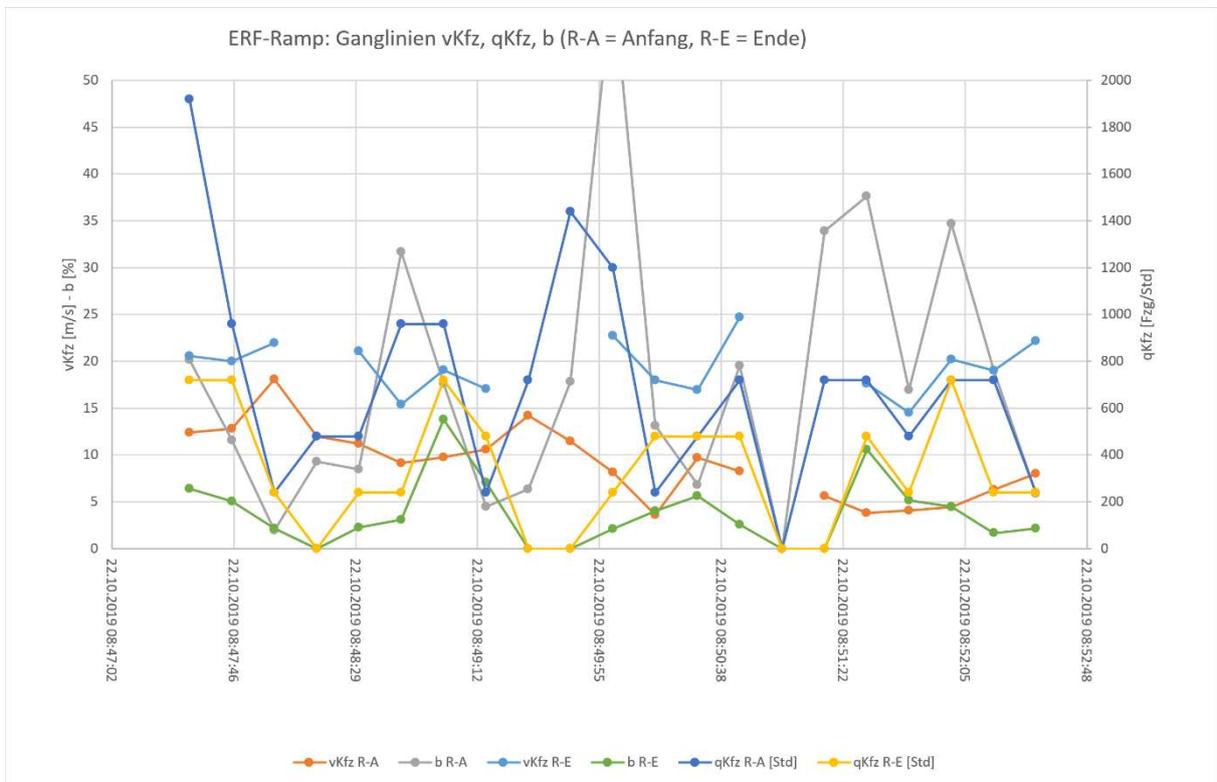
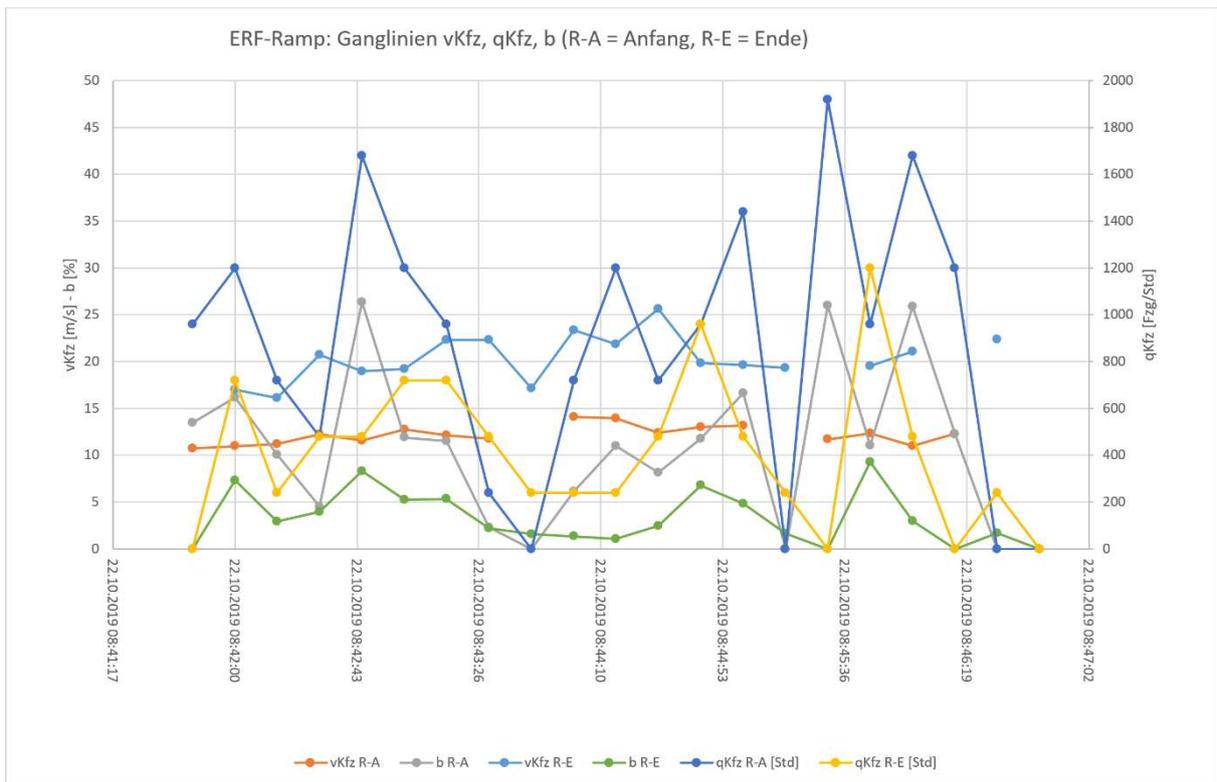


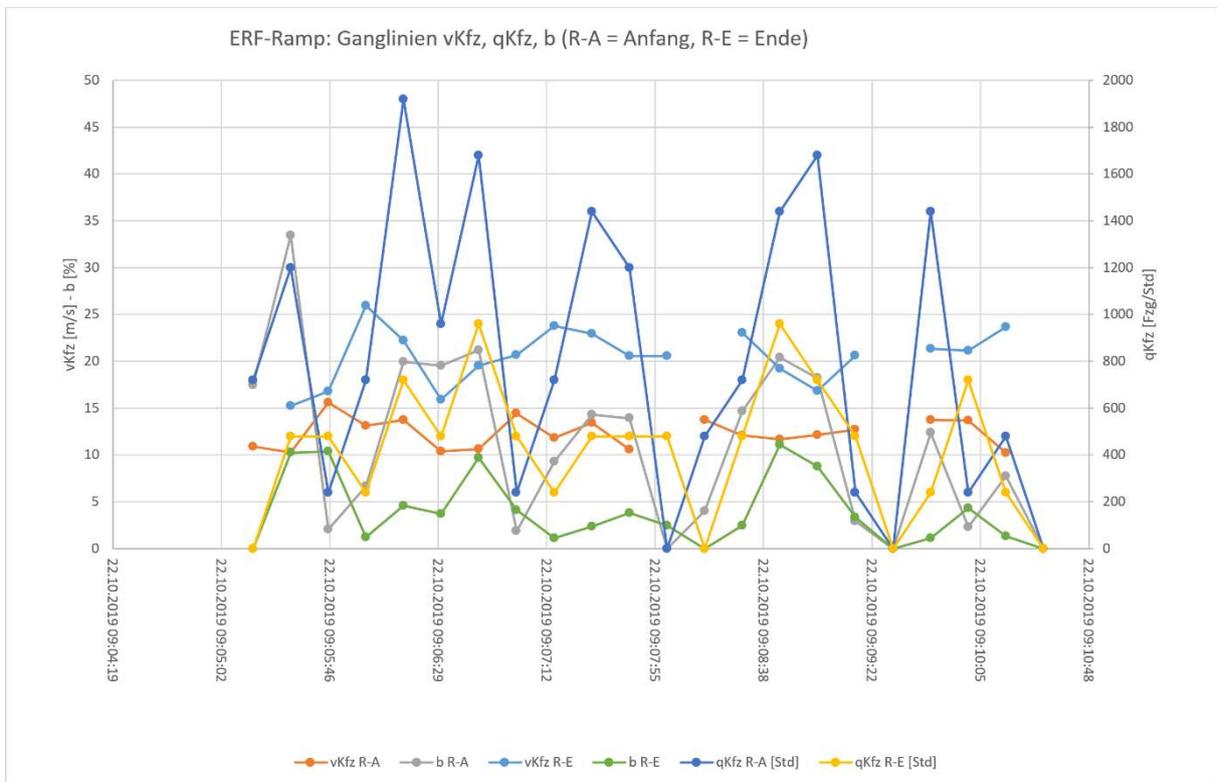
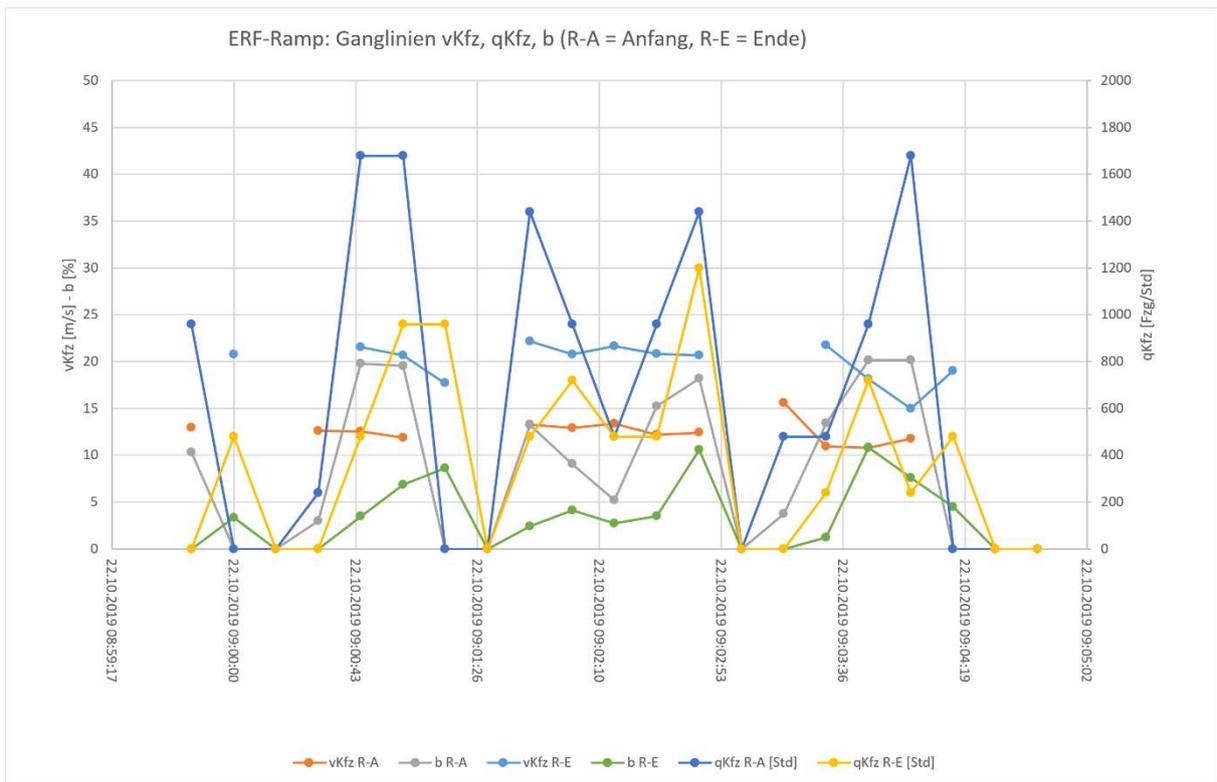
ERF-Ramp: Ganglinien vKfz, qKfz, b (R-A = Anfang, R-E = Ende)

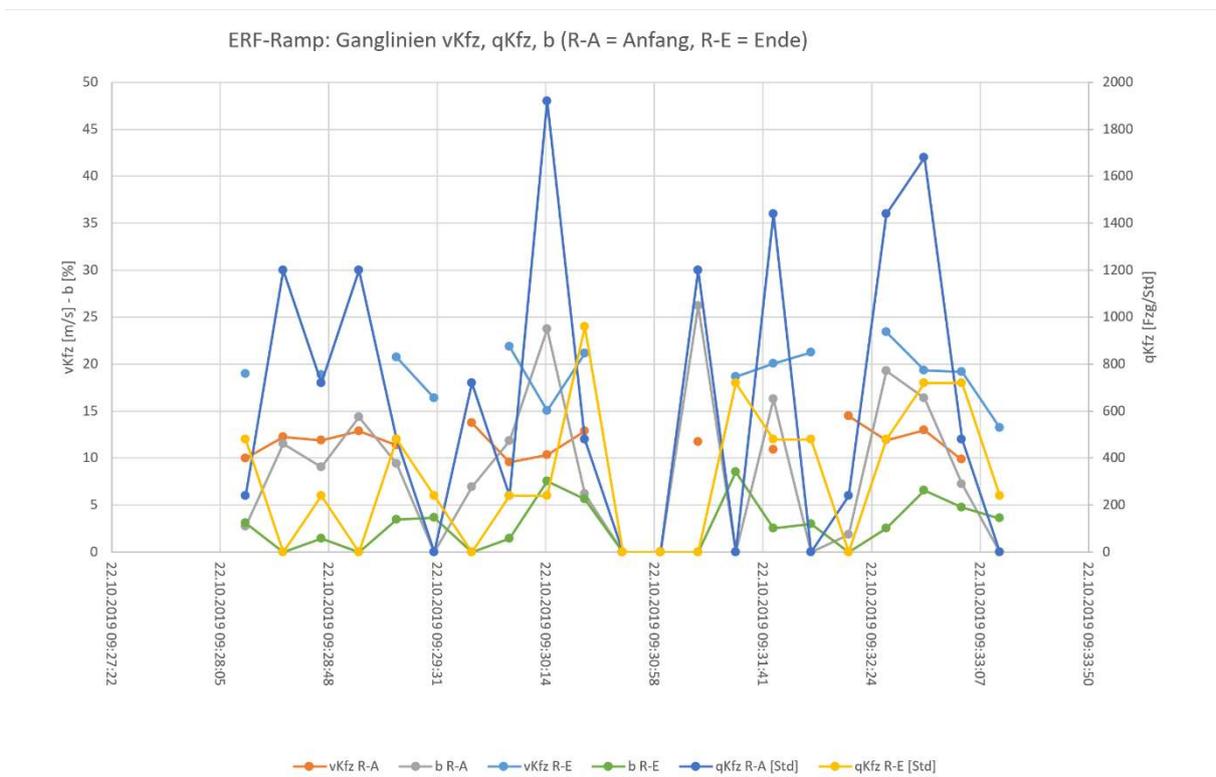
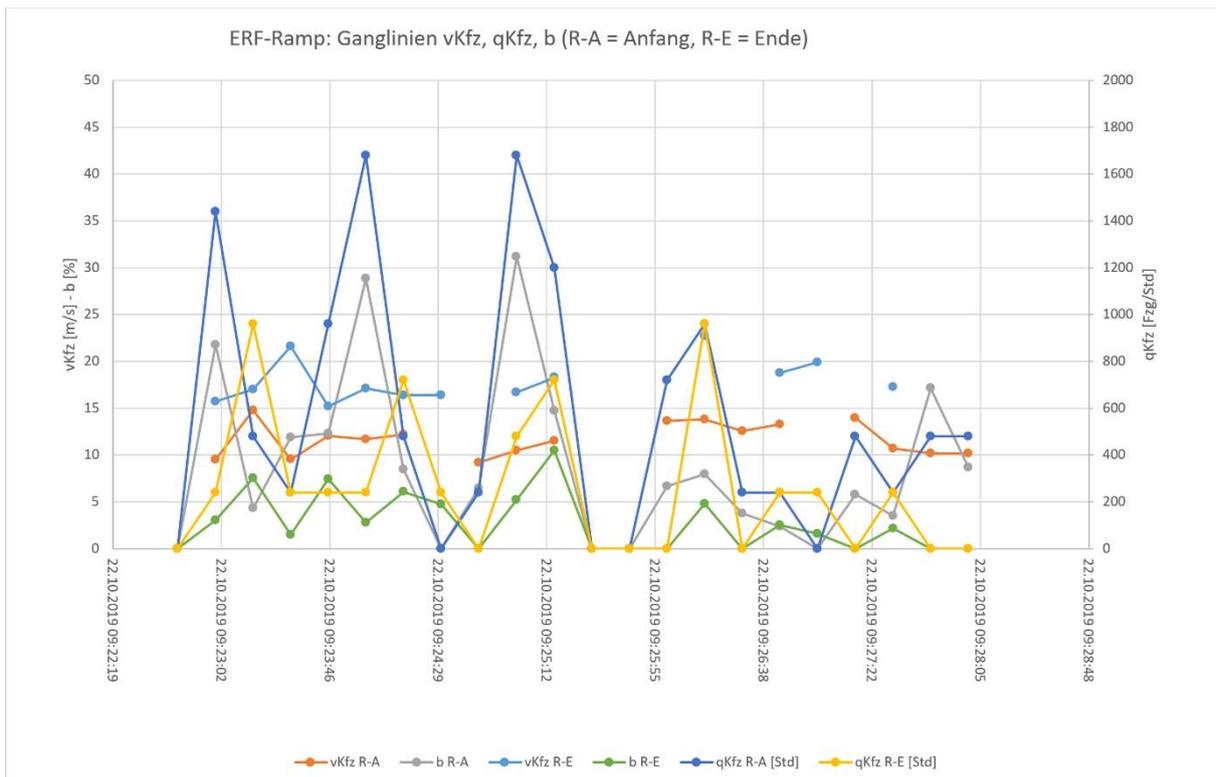


ERF-Ramp: Ganglinien vKfz, qKfz, b (R-A = Anfang, R-E = Ende)





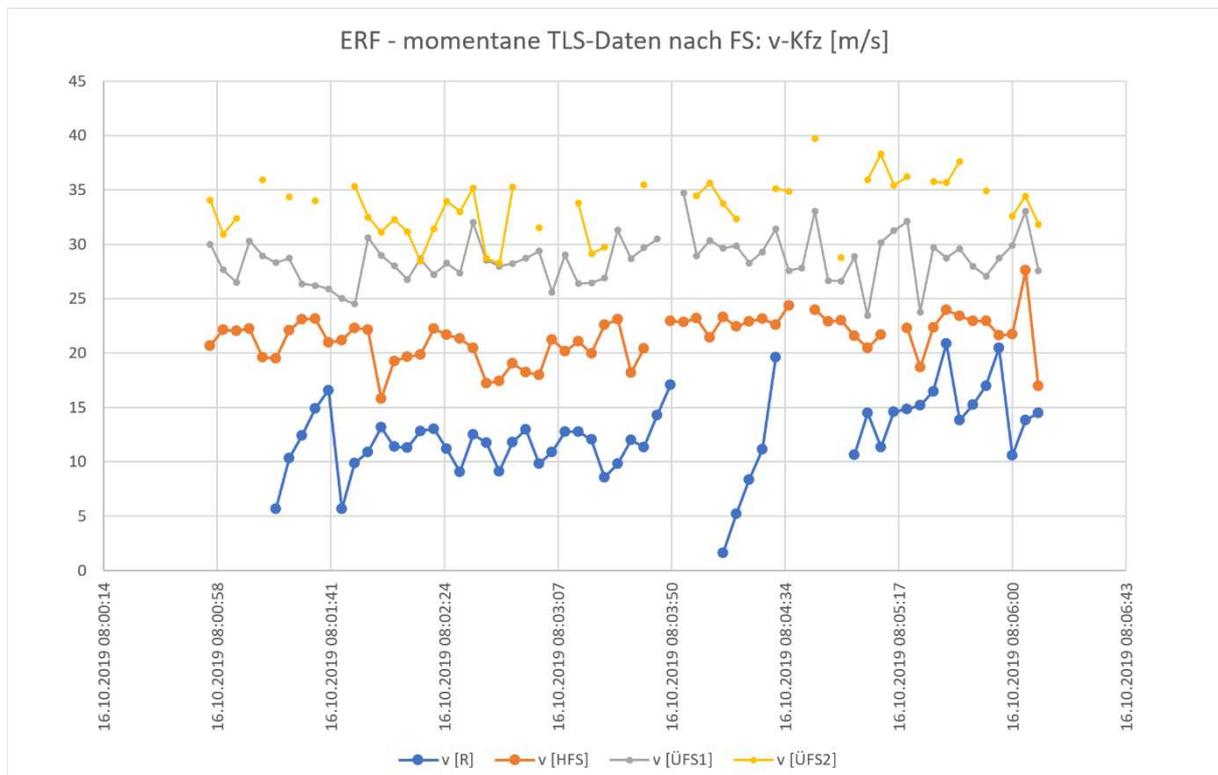
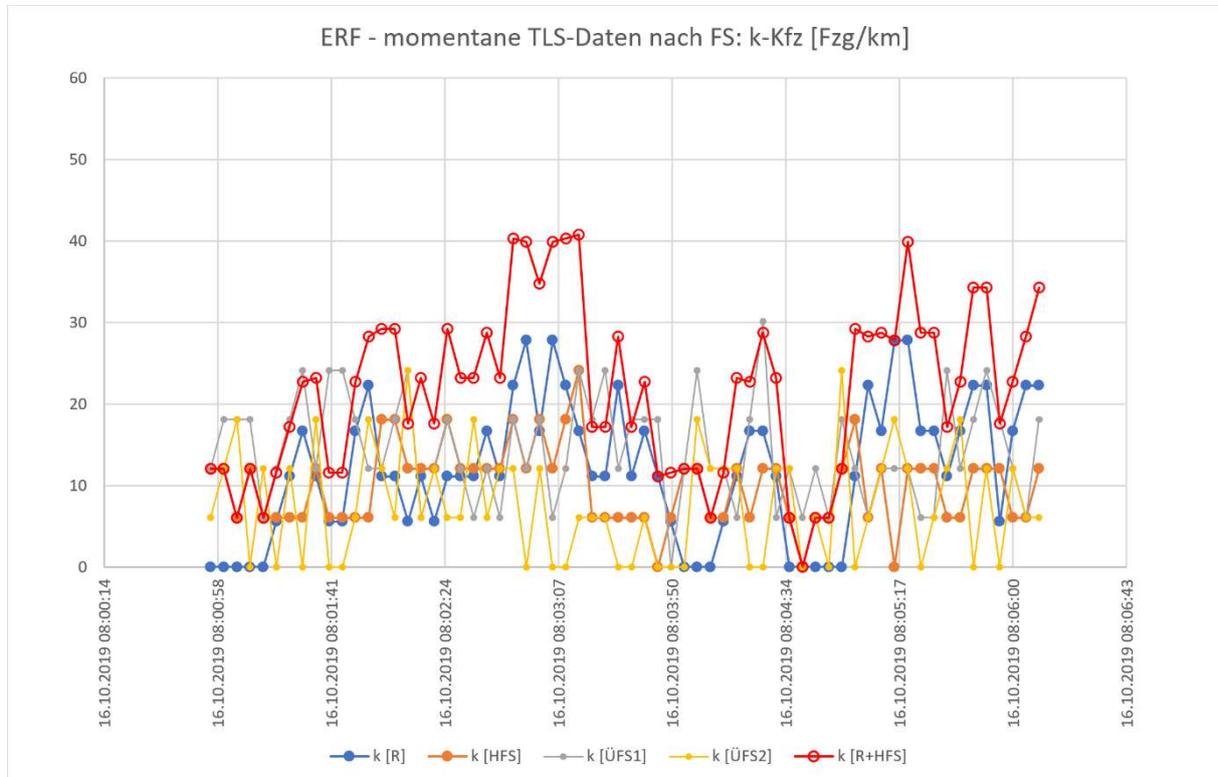




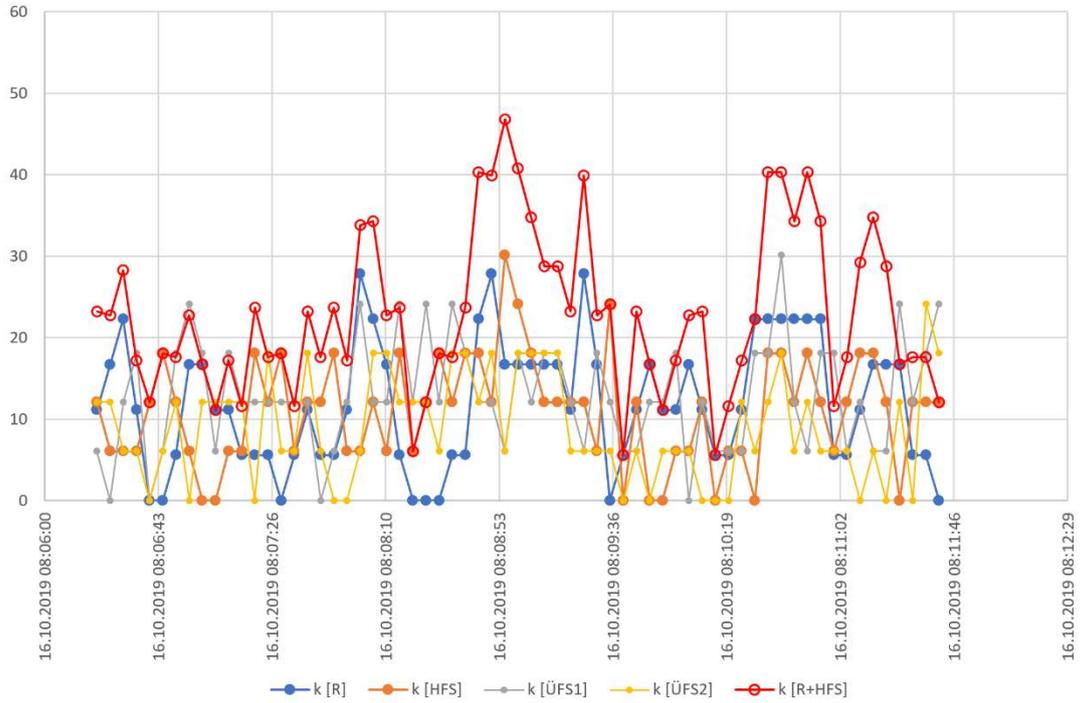
Teilfazit: Die vorstehenden Diagramme zeigen bei den zeitlichen Verläufen, dass von R-A bis R-E die Belegung massiv abgebaut wird, d.h. ein Großteil der notwendigen Verflechtungen trotz der in „Anlage_ZRA-1.2_A61_Erftstadt.pdf“ dargestellten methodischen Einschränkung abgewickelt werden können von der Einfahrt zum HFS. Das Geschwindigkeitsniveau am R-E ist zumeist über 20 m/s und damit für die Verflechtung im nicht per Trajektorien analysierten Bereich unproblematisch.

2.) Momentane Verkehrsdaten für alle Fahrstreifen (Intervall 5s)

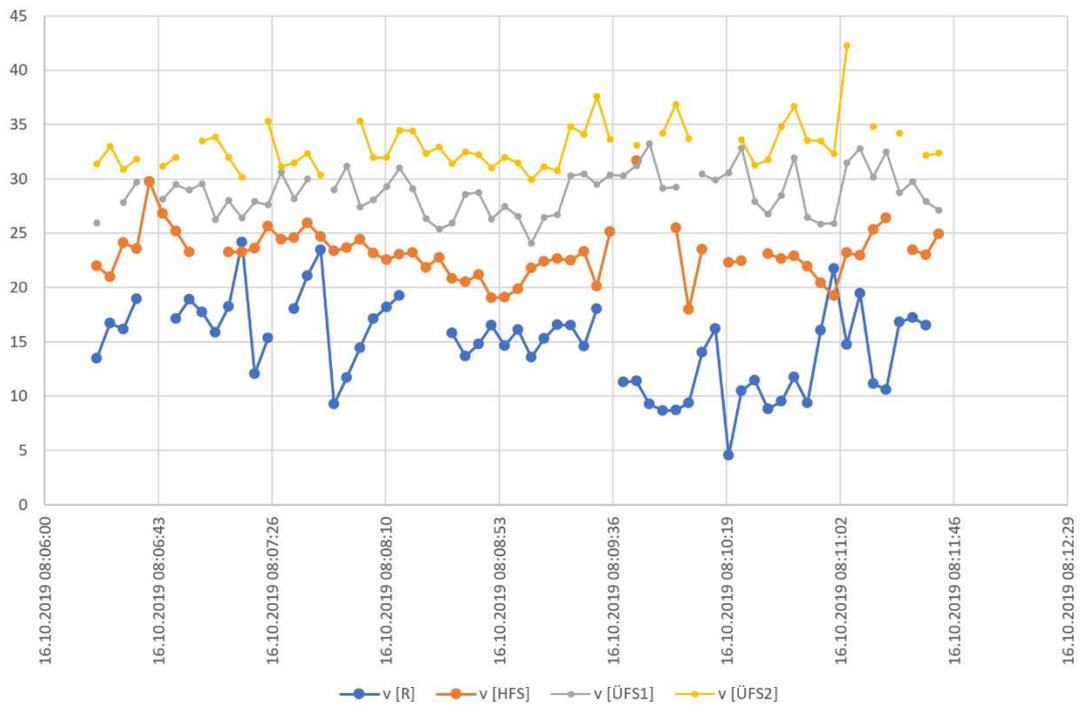
Gegenüberstellung der Ganglinien für die Kfz-Dichte (k_{Kfz}) und der mittleren Reisegeschwindigkeit (v_{Kfz}) in Anlehnung an die TLS nach Fahrstreifen. Ergänzend Darstellung Summe der Dichte der Rampe (Einfahrt) und des Hauptfahrstreifens (HFS), da für die Verflechtung von zentralem Interesse.



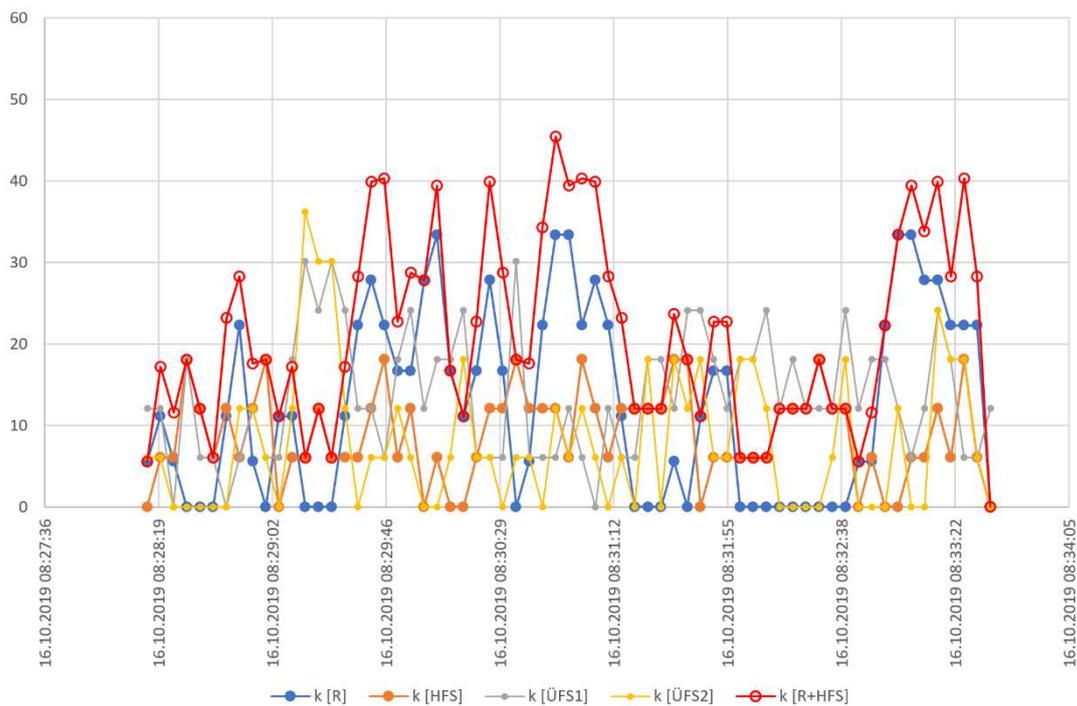
ERF - momentane TLS-Daten nach FS: k-Kfz [Fzg/km]



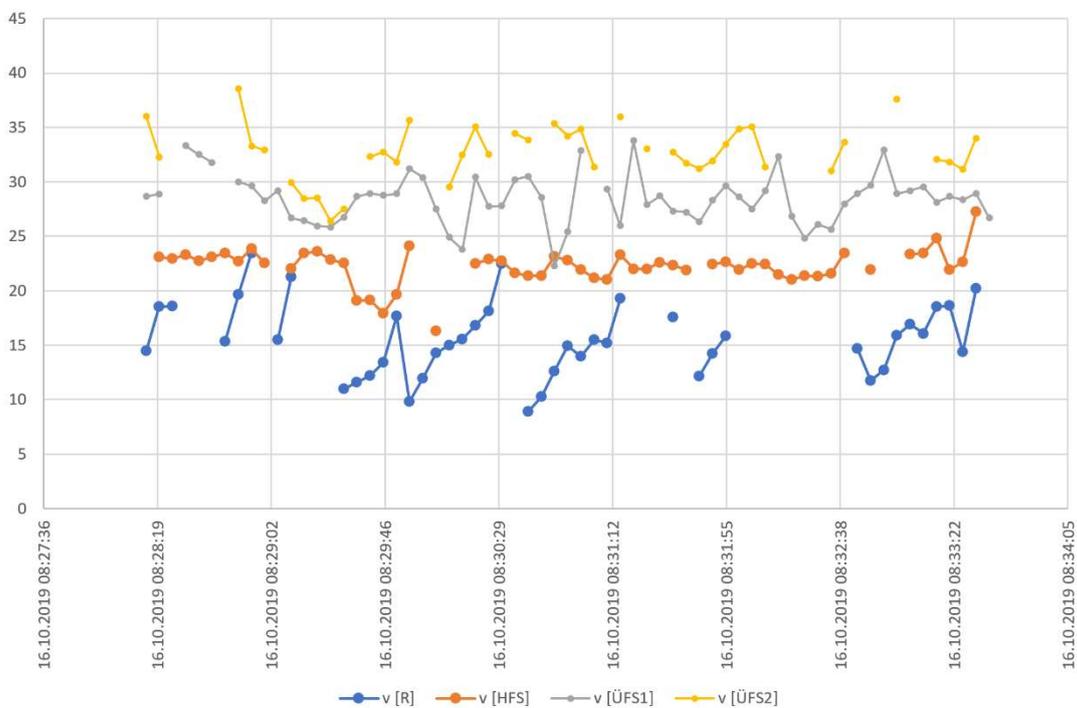
ERF - momentane TLS-Daten nach FS: v-Kfz [m/s]



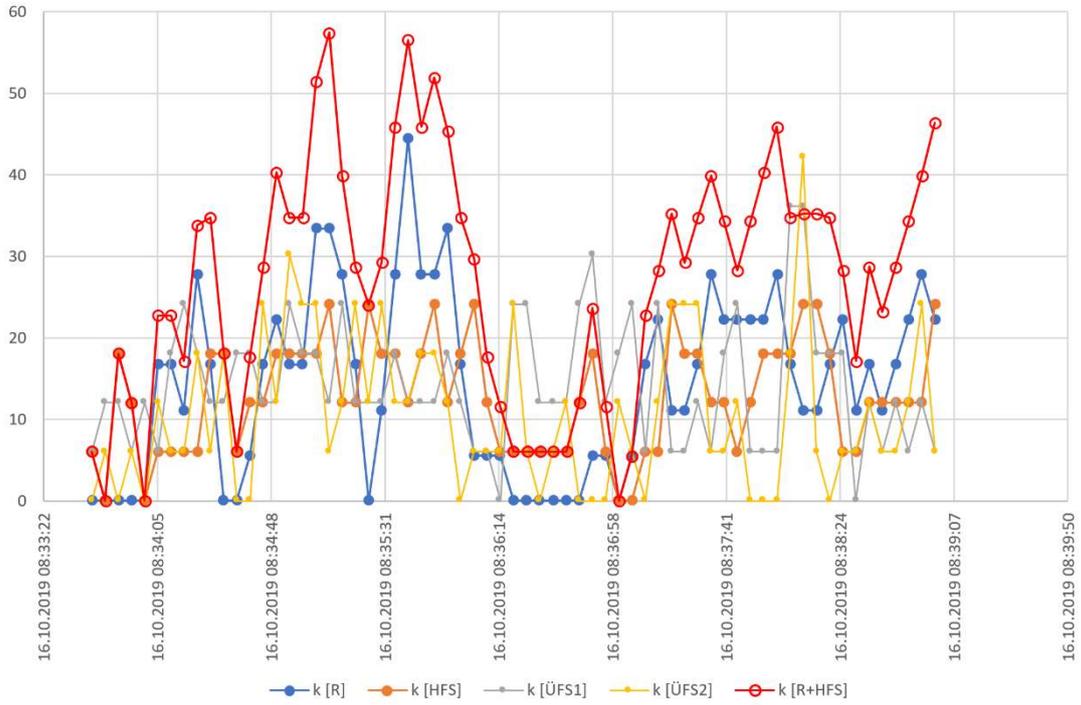
ERF - momentane TLS-Daten nach FS: k-Kfz [Fzg/km]



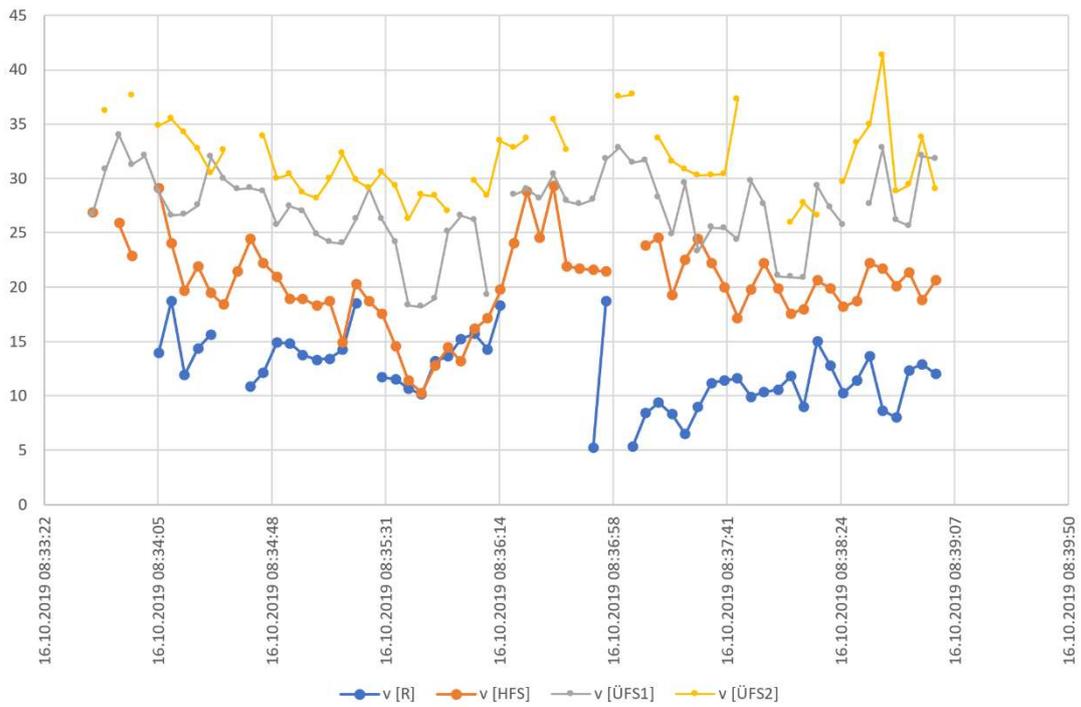
ERF - momentane TLS-Daten nach FS: v-Kfz [m/s]



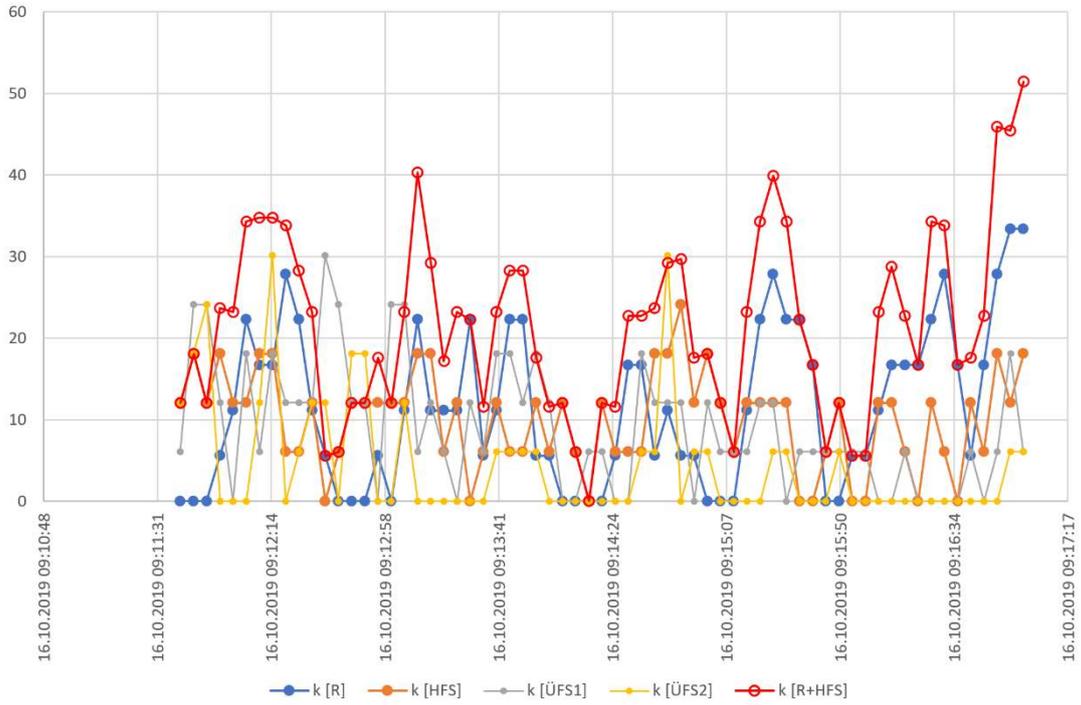
ERF - momentane TLS-Daten nach FS: k-Kfz [Fzg/km]



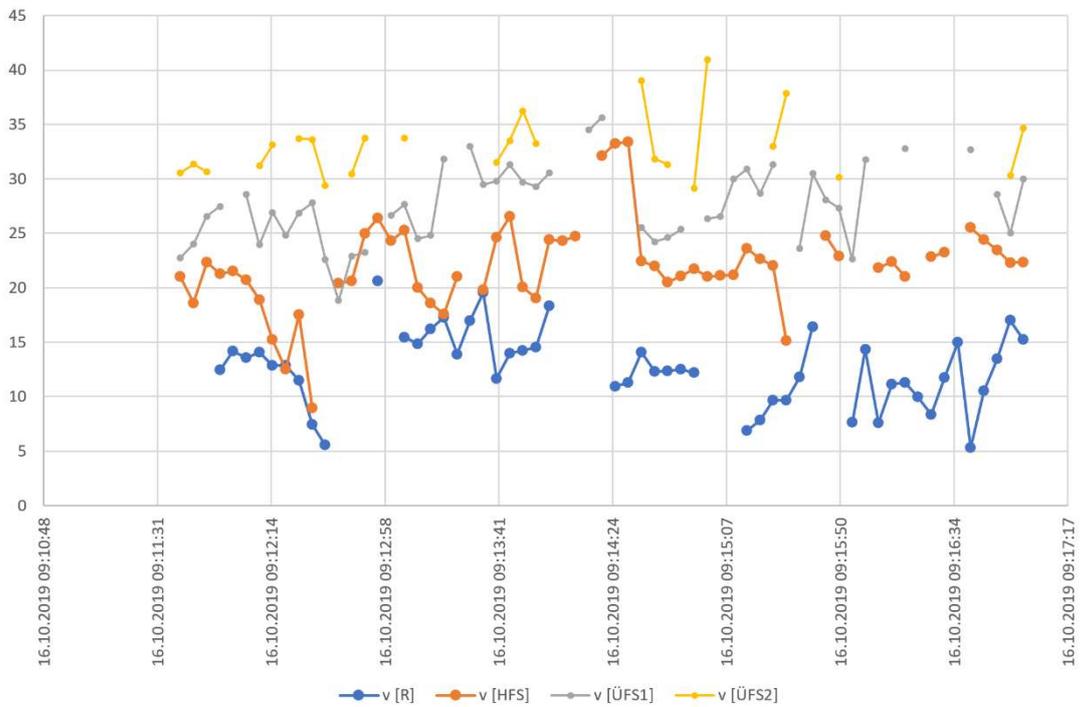
ERF - momentane TLS-Daten nach FS: v-Kfz [m/s]



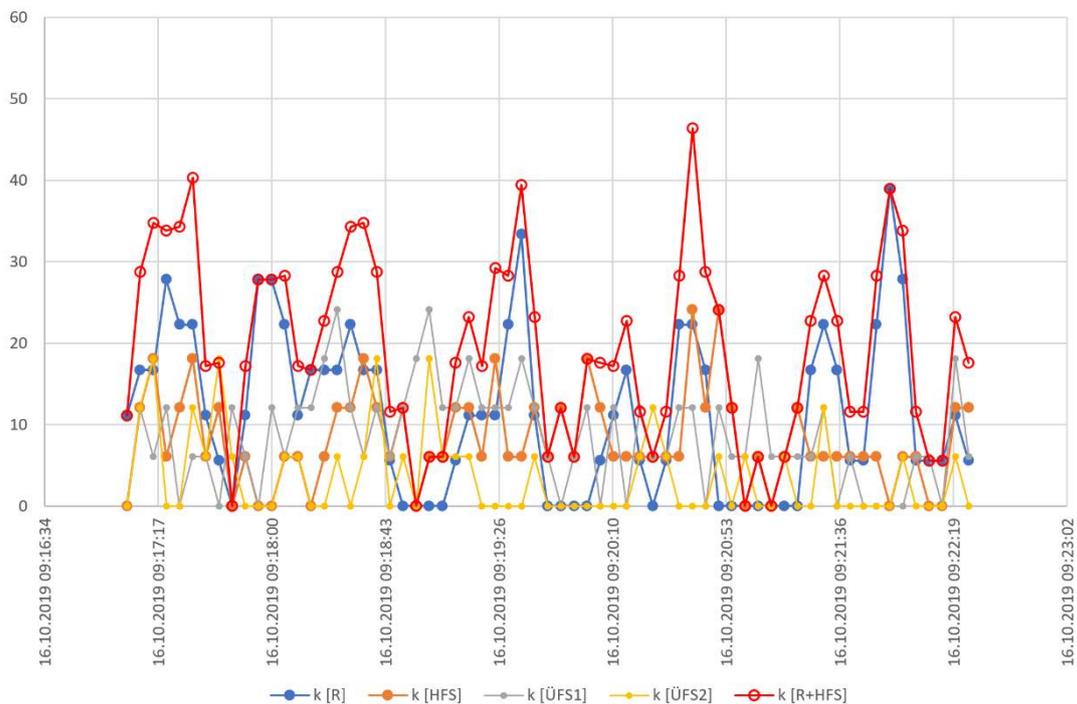
ERF - momentane TLS-Daten nach FS: k-Kfz [Fzg/km]



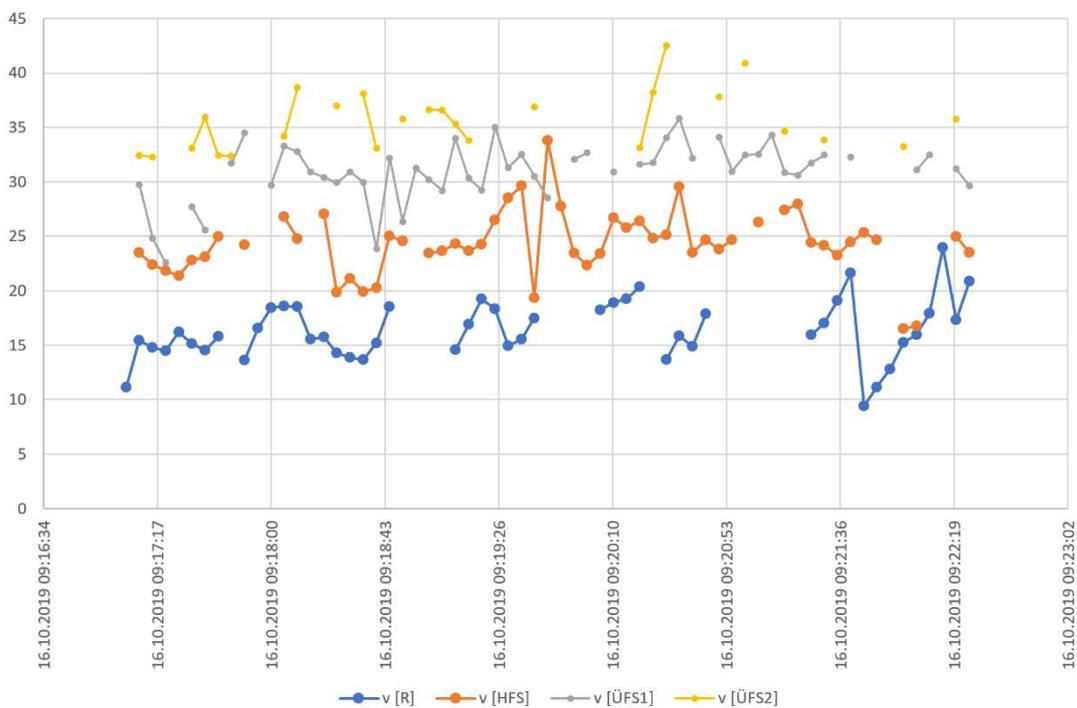
ERF - momentane TLS-Daten nach FS: v-Kfz [m/s]



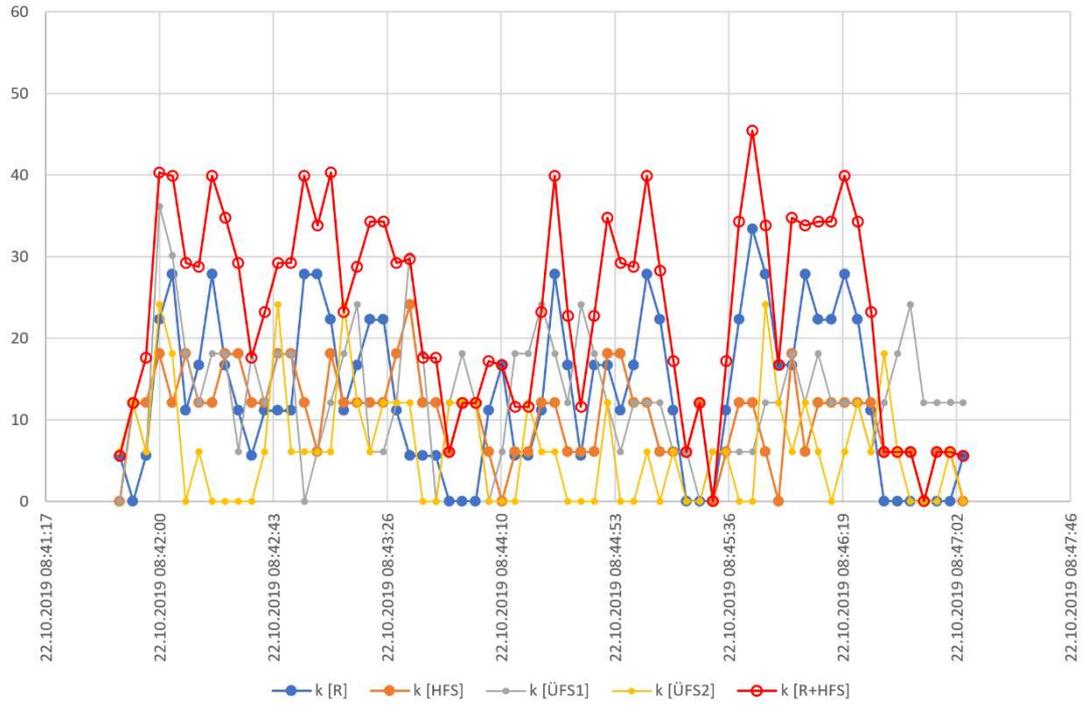
ERF - momentane TLS-Daten nach FS: k-Kfz [Fzg/km]



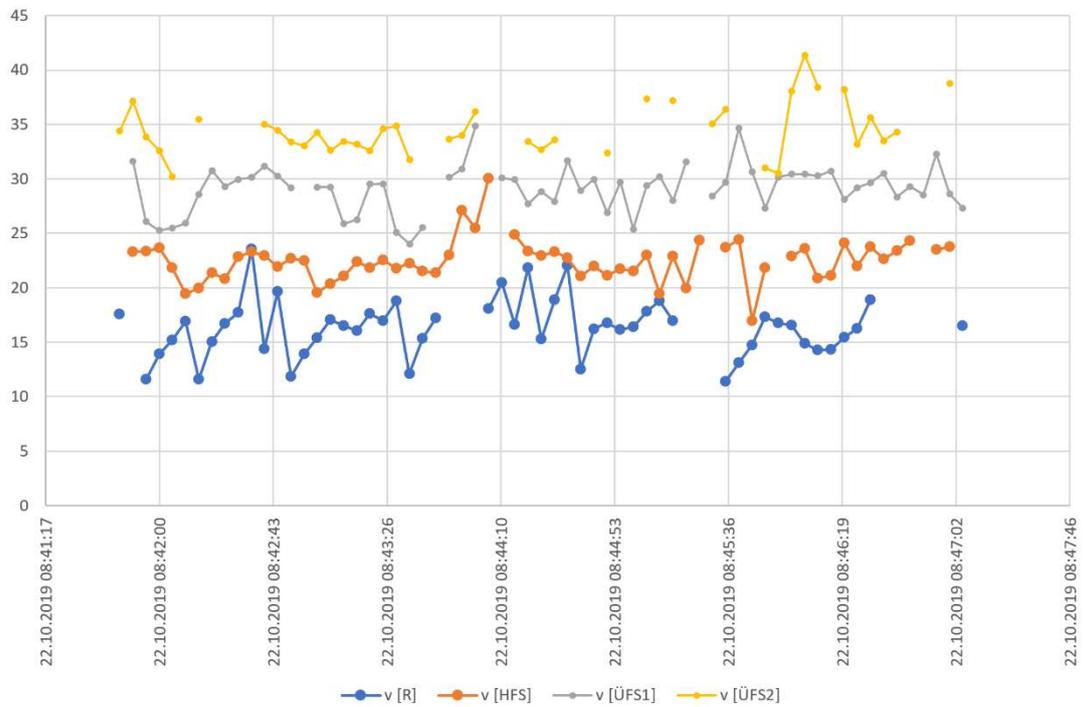
ERF - momentane TLS-Daten nach FS: v-Kfz [m/s]



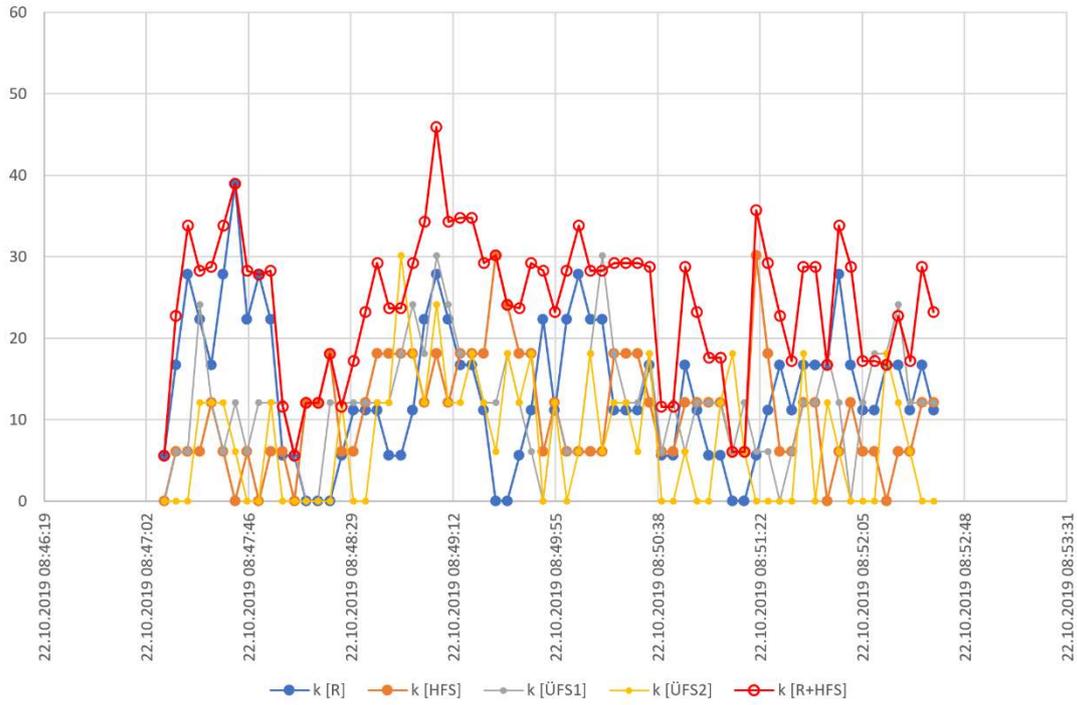
ERF - momentane TLS-Daten nach FS: k-Kfz [Fzg/km]



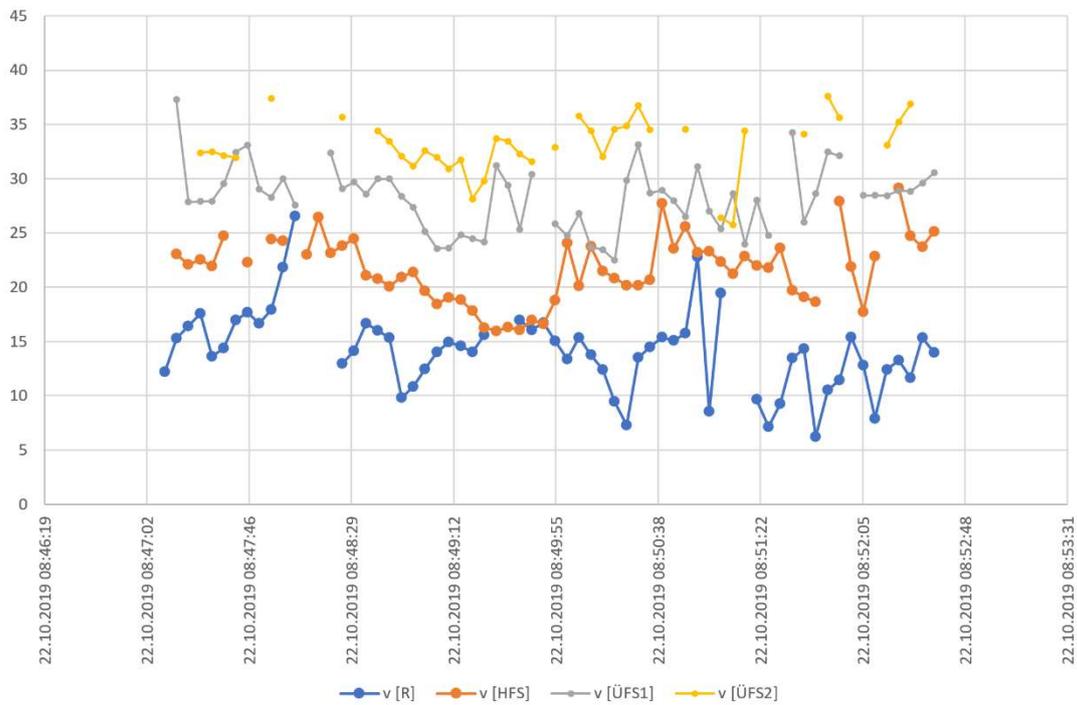
ERF - momentane TLS-Daten nach FS: v-Kfz [m/s]



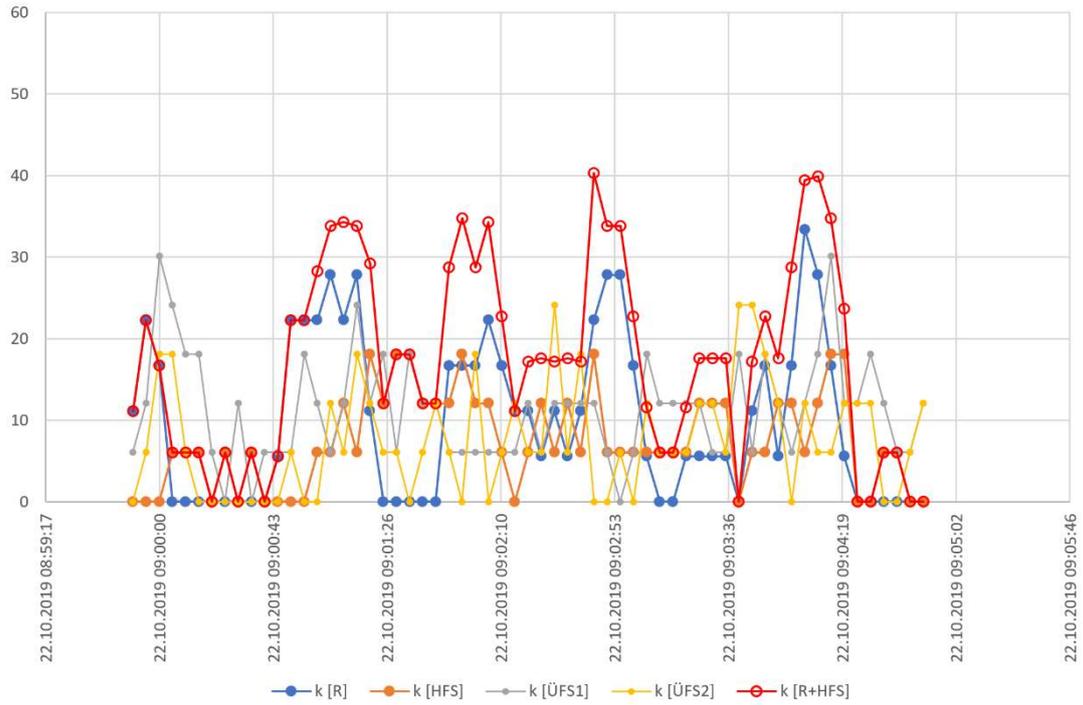
ERF - momentane TLS-Daten nach FS: k-Kfz [Fzg/km]



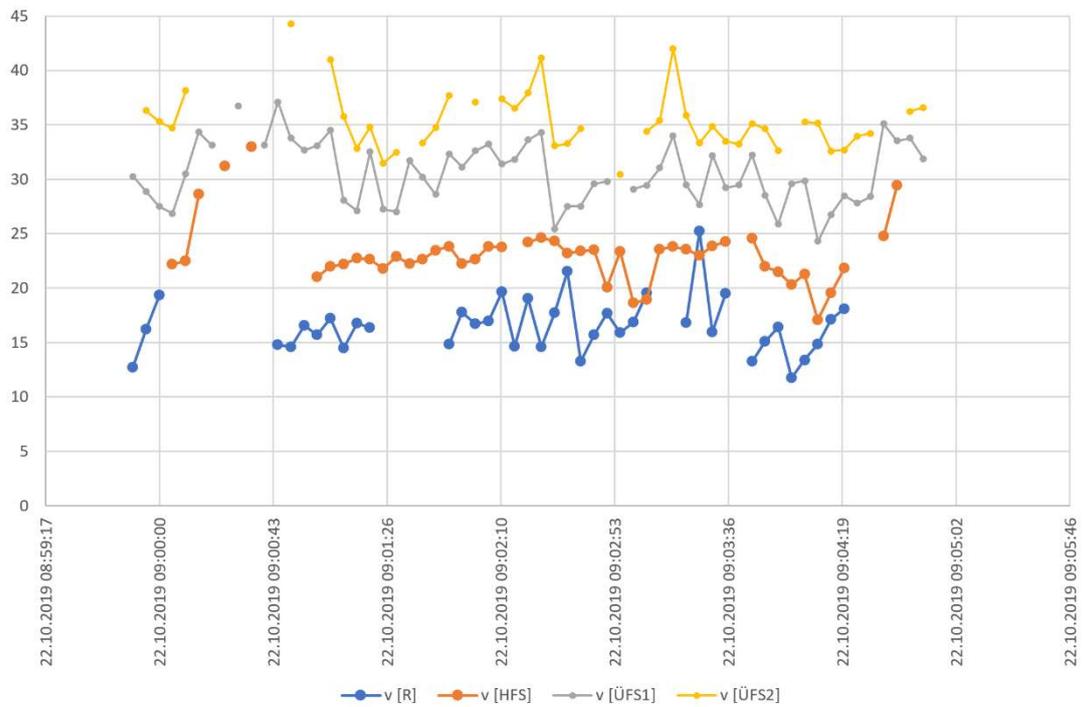
ERF - momentane TLS-Daten nach FS: v-Kfz [m/s]

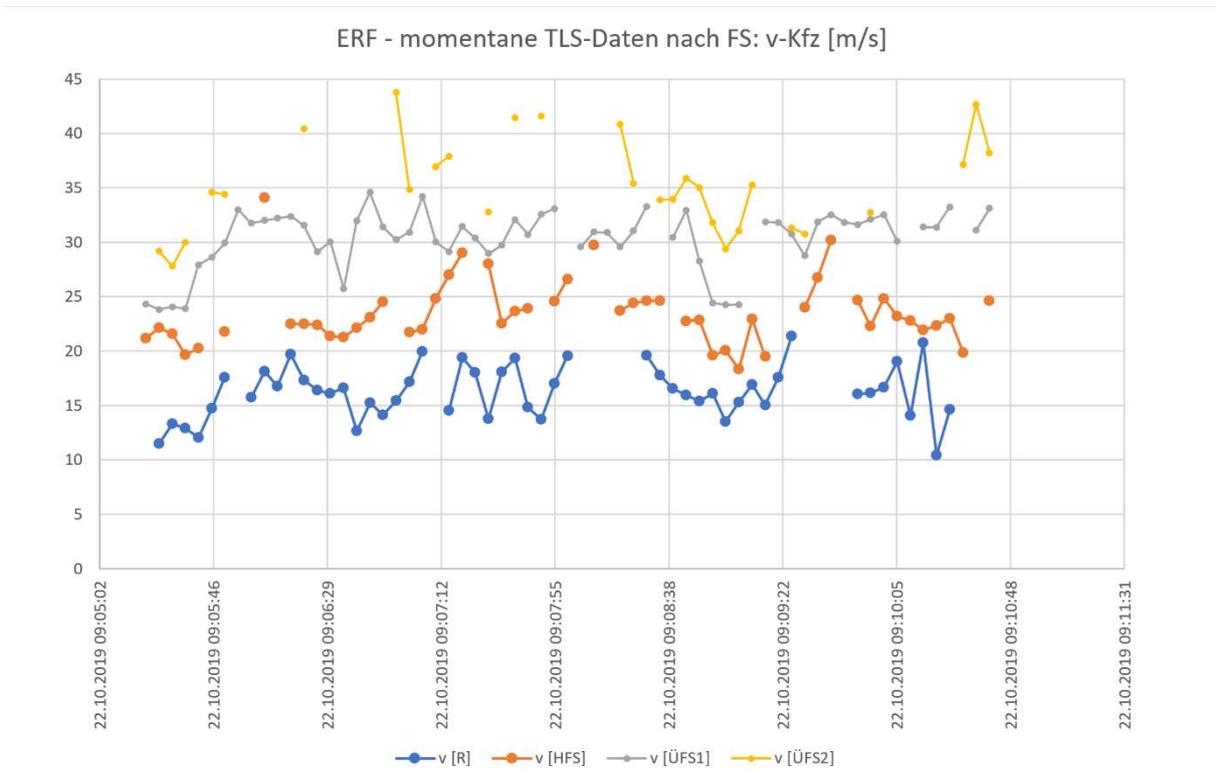
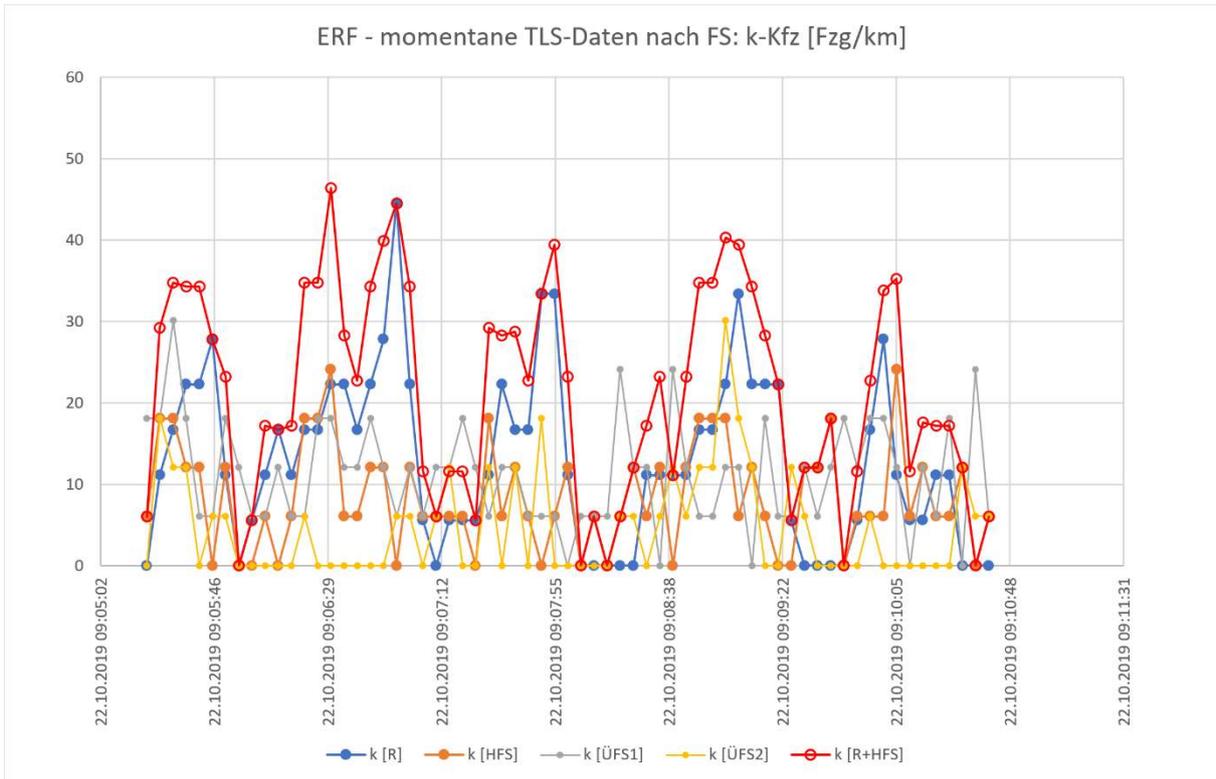


ERF - momentane TLS-Daten nach FS: k-Kfz [Fzg/km]

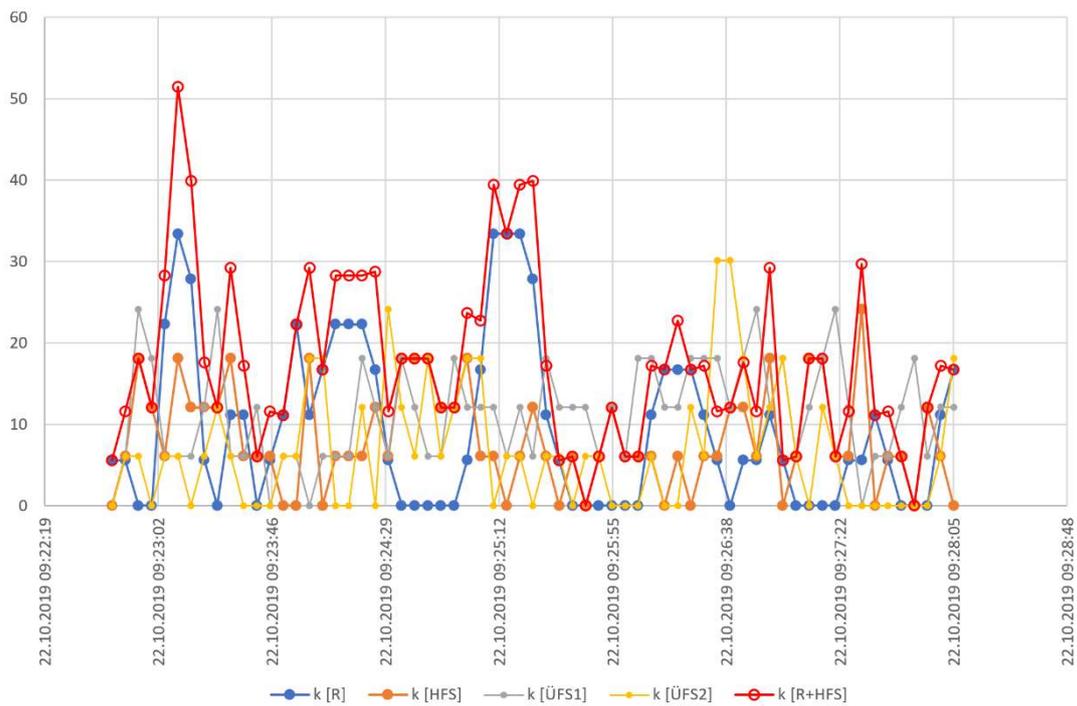


ERF - momentane TLS-Daten nach FS: v-Kfz [m/s]

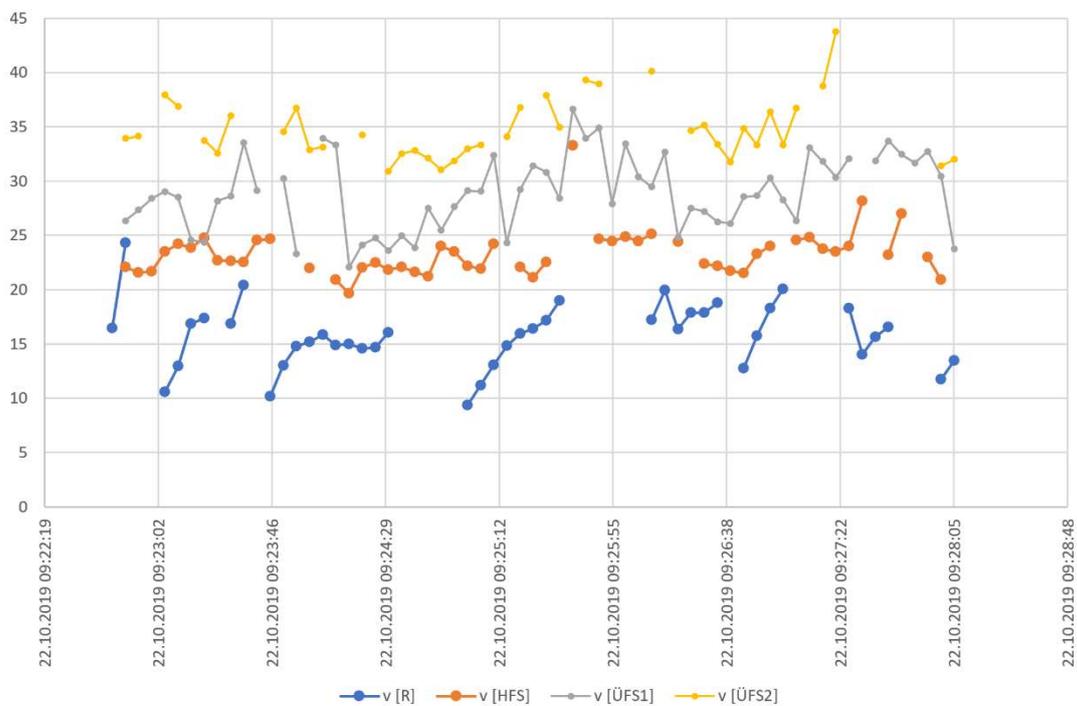




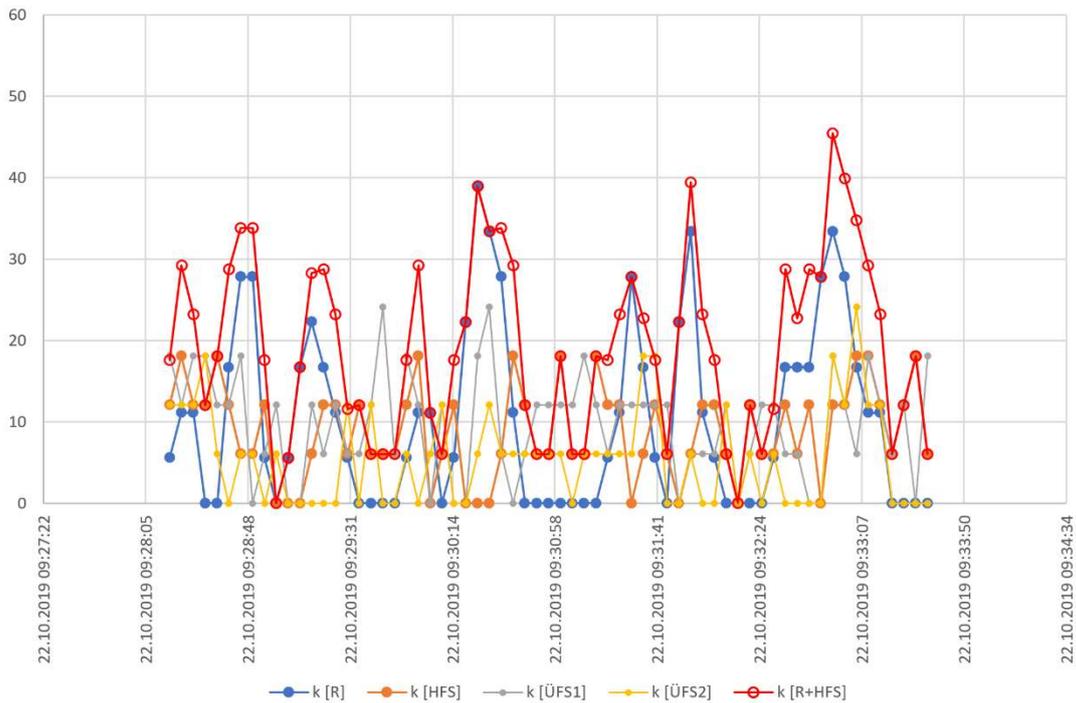
ERF - momentane TLS-Daten nach FS: k-Kfz [Fzg/km]



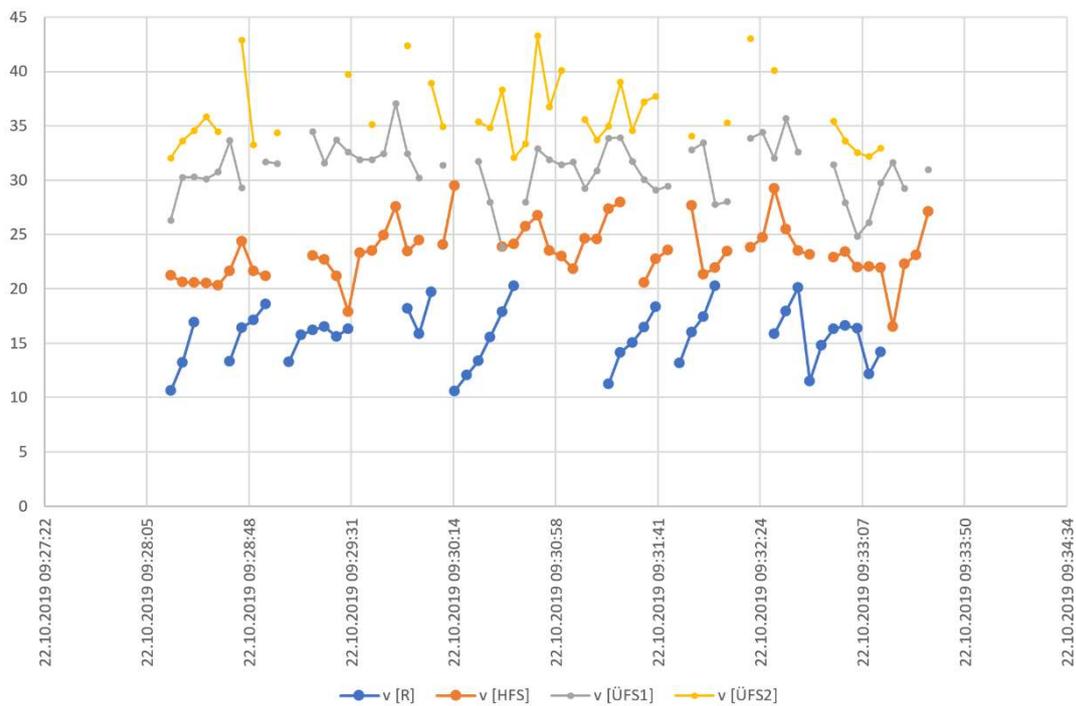
ERF - momentane TLS-Daten nach FS: v-Kfz [m/s]



ERF - momentane TLS-Daten nach FS: k-Kfz [Fzg/km]



ERF - momentane TLS-Daten nach FS: v-Kfz [m/s]



Teilfazit: Die vorstehenden Diagramme zeigen bei den zeitlichen Verläufen der Geschwindigkeiten durch das gewählte Intervall von 5s den bei den lokalen Daten zunächst nicht erkennbaren Unterschied von meist ca. 5-10 m/s zwischen Rampe und HFS. Weiterhin sind die extremen Schwankungen bei der Summe der Dichte HFS und Rampe auffällig, die problematische Verhältnisse bei der Verflechtung zur Folge haben.

DROVA Demonstratoren ZRA

mCLOUD-Veröffentlichungen

Stand: Veröffentlichung/Abgabe Schlussbericht am 31.03.2021:

A57 AS Dormagen FR Nord - Digitalisierter Fahrraum

Digitale Abbildung des Fahrraums im Bereich der A57 AS Dormagen in FR Nord in Form der Markierungslinien in Weltkoordinaten. Der Digitalisierung liegt eine aus drohnenbasierten Fotos abgeleitete Punktwolke mit einer Georeferenzierung als UTM-Abbildung (WGS 84) in der nten Zone zugrunde (EPSG-Code 25832).

mFUND-Projekt: DROVA, FKZ: 19F2041B



Bereitgestellt durch

GETRASOL - Ingenieurbüro für das Verkehrswesen

Art des Datenzugangs

[Dateidownload](#)

Aktualität der

Datensatzbeschreibung

25.03.2021

Raumbezug



A57 AS Dormagen FR Nord - Fahrlinienübersichten

Übersicht der je Set von Fahrzeugtrajektorien abgeleiteten Fahrlinien im Bereich der A57 AS Dormagen FR Nord als Bitmap. Einschließlich Darstellung des Fahrraums in Form der Markierungen sowie der Lage der lokalen Messquerschnitte "Entry", "Exit" und "Ramp".

mFUND-Projekt: DROVA, FKZ: 19F2041B



Bereitgestellt durch

GETRASOL - Ingenieurbüro für das Verkehrswesen

Art des Datenzugangs

[Dateidownload](#)

Aktualität der

Datensatzbeschreibung

26.03.2021

Raumbezug



A61 AS Erftstadt FR Nord - Fahrlinienübersichten

Übersicht der je Set von Fahrzeugtrajektorien abgeleiteten Fahrlinien im Bereich der A61 AS Erftstadt FR Nord als Bitmap. Einschließlich Darstellung des Fahrtraums in Form der Markierungen sowie der Lage der lokalen Messquerschnitte "Entry", "Exit" und "Ramp".

mFUND-Projekt: DROVA, FKZ: 19F2041B



Bereitgestellt durch

GETRASOL - Ingenieurbüro für das Verkehrswesen

Art des Datenzugangs

[Dateidownload](#)

Aktualität der

Datensatzbeschreibung

26.03.2021

Raumbezug



A61 AS Erftstadt FR Nord - Digitalisierter Fahrraum

Digitale Abbildung des Fahrtraums im Bereich der A61 AS Erftstadt in FR Nord in Form der Markierungslinien in Weltkoordinaten. Der Digitalisierung liegt eine aus drohnenbasierten Fotos abgeleitete Punktwolke mit einer Georeferenzierung als UTM-Abbildung (WGS 84) in der nten Zone zugrunde (EPSG-Code 25832).

mFUND-Projekt: DROVA, FKZ: 19F2041B



Bereitgestellt durch

GETRASOL - Ingenieurbüro für das Verkehrswesen

Art des Datenzugangs

[Dateidownload](#)

Aktualität der

Datensatzbeschreibung

25.03.2021

Raumbezug



A61 AS Erfstadt FR Nord - TLS-Daten LVE/SVE

Tabellen der aus Einzelfahrzeugtrajektorien abgeleiteten Verkehrsdaten in Anlehnung an die Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen (TLS 2012). Aufbereitung für die A61 AS Erfstadt FR Nord für lokale Verkehrserfassung (LVE) und streckenbezogene Verkehrserfassung (SVE) gemäß in den Dateien erläuterten Attributen und Intervallen.

mFUND-Projekt: DROVA, FKZ: 19F2041B



Bereitgestellt durch

GETRASOL - Ingenieurbüro für das Verkehrswesen

Art des Datenzugangs

[Dateidownload](#)

Aktualität der

Datensatzbeschreibung

29.03.2021

Raumbezug



A1 AS Hamm-Bergkamen FR Süd - Digitalisierter Fahrraum

Digitale Abbildung des Fahrraums im Bereich der A1 AS Hamm-Bergkamen FR Süd in Form der Markierungslinien in Weltkoordinaten. Der Digitalisierung liegt eine aus drohnenbasierten Fotos abgeleitete Punktwolke mit einer Georeferenzierung als UTM-Abbildung (WGS 84) in der 10ten Zone zugrunde (EPSG-Code 25832).

mFUND-Projekt: DROVA, FKZ: 19F2041B



Bereitgestellt durch

GETRASOL - Ingenieurbüro für das Verkehrswesen

Art des Datenzugangs

[Dateidownload](#)

Aktualität der

Datensatzbeschreibung

25.03.2021

Raumbezug



A57 AS Neuss-Reuschenberg FR Osten - Fahrlinienübersichten

Übersicht der je Set von Fahrzeugtrajektorien abgeleiteten Fahrlinien im Bereich der A57 AS Neuss-Reuschenberg FR Osten als Bitmap. Einschließlich Darstellung des Fahrraums in Form der Markierungen sowie der Lage der lokalen Messquerschnitte "Entry", "Exit" und "Ramp".

mFUND-Projekt: DROVA, FKZ: 19F2041B



Bereitgestellt durch

GETRASOL - Ingenieurbüro für das
Verkehrswesen

Art des Datenzugangs

[Dateidownload](#)

Aktualität der

Datensatzbeschreibung

26.03.2021

Raumbezug



A57 AS Neuss-Reuschenberg FR Osten - Digitalisierter Fahrraum

Digitale Abbildung des Fahrraums im Bereich der A57 AS Neuss-Reuschenberg in FR Osten in Form der Markierungslinien in Weltkoordinaten. Der Digitalisierung liegt eine aus drohnenbasierten Fotos abgeleitete Punktwolke mit einer Georeferenzierung als UTM-Abbildung (WGS 84) in der nten Zone zugrunde (EPSG-Code 25832).

mFUND-Projekt: DROVA, FKZ: 19F2041B



Bereitgestellt durch

GETRASOL - Ingenieurbüro für das
Verkehrswesen

Art des Datenzugangs

[Dateidownload](#)

Aktualität der

Datensatzbeschreibung

25.03.2021

Raumbezug



A57 AS Köln-Worringen FR Süd - Digitalisierter Fahrraum

Digitale Abbildung des Fahrraums im Bereich der A57 AS Köln-Worringen in FR Süd in Form der Markierungslinien in Weltkoordinaten. Der Digitalisierung liegt eine aus drohnenbasierten Fotos abgeleitete Punktwolke mit einer Georeferenzierung als UTM-Abbildung (WGS 84) in der nten Zone zugrunde (EPSG-Code 25832).

mFUND-Projekt: DROVA, FKZ: 19F2041B



Bereitgestellt durch

GETRASOL - Ingenieurbüro für das Verkehrswesen

Art des Datenzugangs

[Dateidownload](#)

Aktualität der

Datensatzbeschreibung

25.03.2021

Raumbezug



A57 AS Köln-Worringen FR Süd - Fahrlinienübersichten

Übersicht der je Set von Fahrzeugtrajektorien abgeleiteten Fahrlinien im Bereich der A57 AS Köln-Worringen FR Süd als Bitmap. Einschließlich Darstellung des Fahrraums in Form der Markierungen sowie der Lage der lokalen Messquerschnitte "Entry", "Exit" und "Ramp".

mFUND-Projekt: DROVA, FKZ: 19F2041B



Bereitgestellt durch

GETRASOL - Ingenieurbüro für das Verkehrswesen

Art des Datenzugangs

[Dateidownload](#)

Aktualität der

Datensatzbeschreibung

26.03.2021

Raumbezug



A46 AS Neuss-Holzheim FR Nord - Fahrlinienübersichten

Übersicht der je Set von Fahrzeugtrajektorien abgeleiteten Fahrlinien im Bereich der A46 AS Neuss-Holzheim FR Nord als Bitmap. Einschließlich Darstellung des Fahrraums in Form der Markierungen sowie der Lage der lokalen Messquerschnitte "Entry", "Exit" und "Ramp".

mFUND-Projekt: DROVA, FKZ: 19F2041B



Bereitgestellt durch

GETRASOL - Ingenieurbüro für das Verkehrswesen

Art des Datenzugangs

[Dateidownload](#)

Aktualität der

Datensatzbeschreibung

26.03.2021

Raumbezug



A46 AS Neuss-Holzheim FR Nord - Digitalisierter Fahrraum

Digitale Abbildung des Fahrraums im Bereich der A46 AS Neuss-Holzheim in FR Nord in Form der Markierungslinien in Weltkoordinaten. Der Digitalisierung liegt eine aus drohnenbasierten Fotos abgeleitete Punktwolke mit einer Georeferenzierung als UTM-Abbildung (WGS 84) in der nten Zone zugrunde (EPSG-Code 25832).

mFUND-Projekt: DROVA, FKZ: 19F2041B



Bereitgestellt durch

GETRASOL - Ingenieurbüro für das Verkehrswesen

Art des Datenzugangs

[Dateidownload](#)

Aktualität der

Datensatzbeschreibung

25.03.2021

Raumbezug



A43 AS Senden FR Osten - Fahrlinienübersicht

Übersicht der je Set von Fahrzeugtrajektorien abgeleiteten Fahrlinien im Bereich der A43 AS Senden FR Osten als Bitmap. Einschließlich Darstellung des Fahrraums in Form der Markierungen sowie der Lage der lokalen Messquerschnitte "Entry", "Exit" und "Ramp".

mFUND-Projekt: DROVA, FKZ: 19F2041B



Bereitgestellt durch

GETRASOL - Ingenieurbüro für das Verkehrswesen

Art des Datenzugangs

[Dateidownload](#)

Aktualität der

Datensatzbeschreibung

26.03.2021

Raumbezug



A43 AS Senden FR Osten - Digitalisierter Fahrraum

Digitale Abbildung des Fahrraums im Bereich der A43 AS Senden FR Osten in Form der Markierungslinien in Weltkoordinaten. Der Digitalisierung liegt eine aus drohnenbasierten Fotos abgeleitete Punktwolke mit einer Georeferenzierung als UTM-Abbildung (WGS 84) in der nten Zone zugrunde (EPSG-Code 25832).

mFUND-Projekt: DROVA, FKZ: 19F2041B



Bereitgestellt durch

GETRASOL - Ingenieurbüro für das Verkehrswesen

Art des Datenzugangs

[Dateidownload](#)

Aktualität der

Datensatzbeschreibung

25.03.2021

Raumbezug



Analyseergebnisse AID

Demonstrator AID BAB 43 Witten-Herbede – Sprockhövel

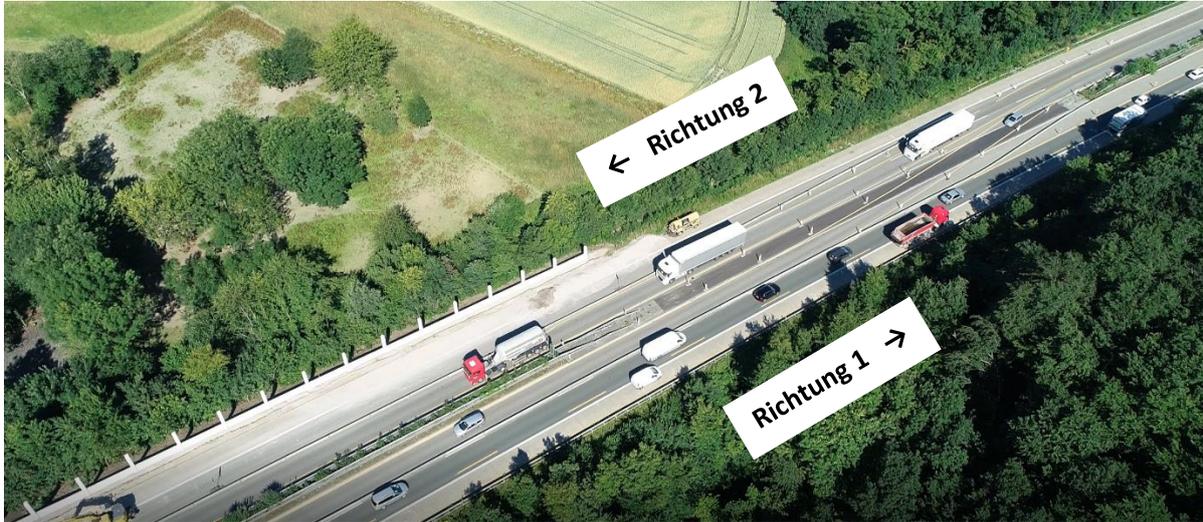


Abbildung 1: Drohnen-Perspektive BAB 43 Witten-Herbede - Sprockhövel [Quelle: Sky-High-Views GbR]

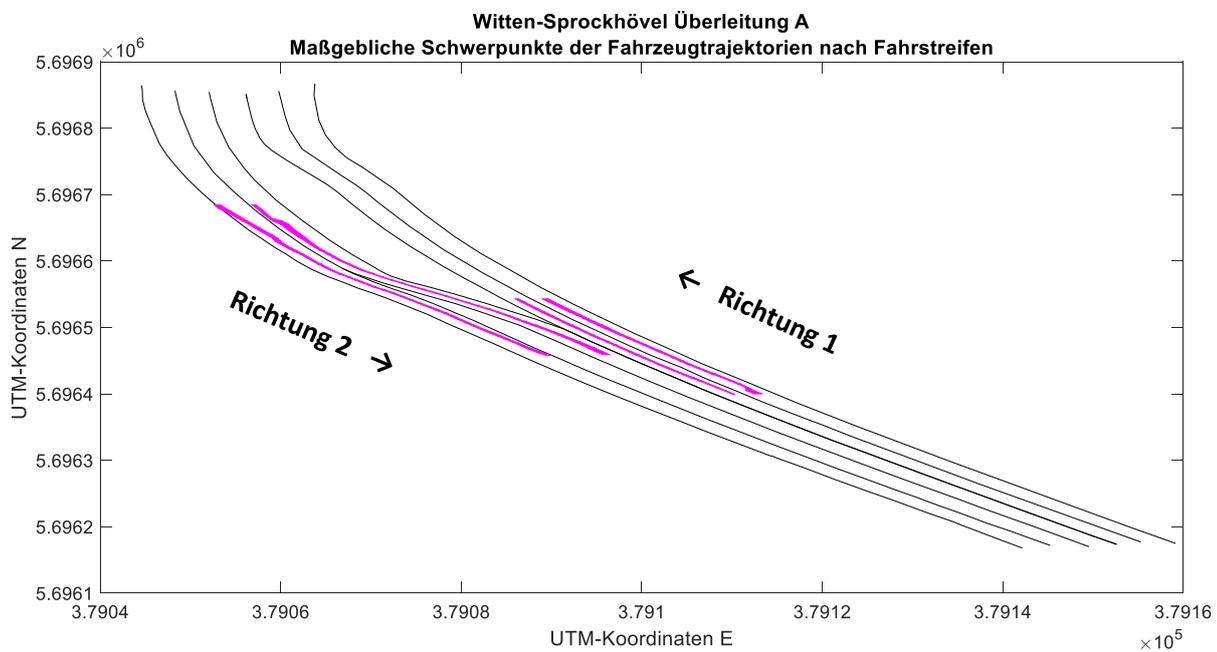


Abbildung 2: Ergebnisse nach Kriterien 1)

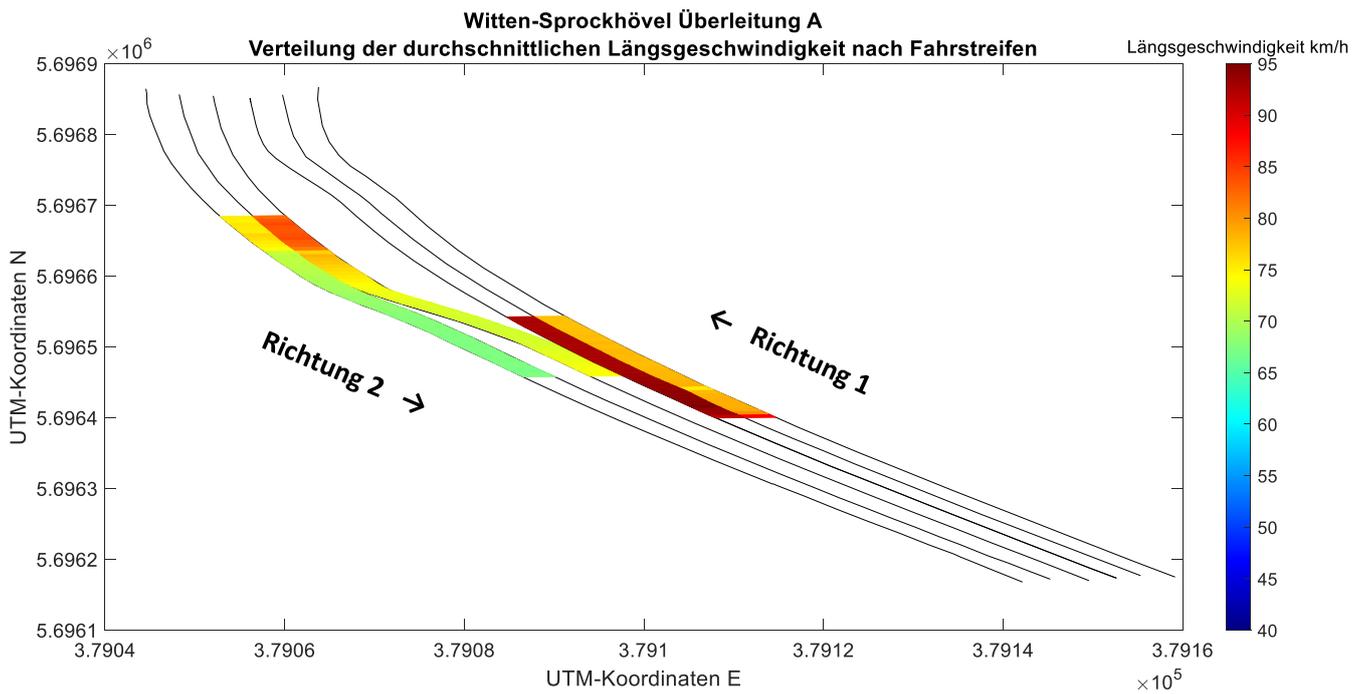


Abbildung 3: Ergebnisse nach Kriterien 2)

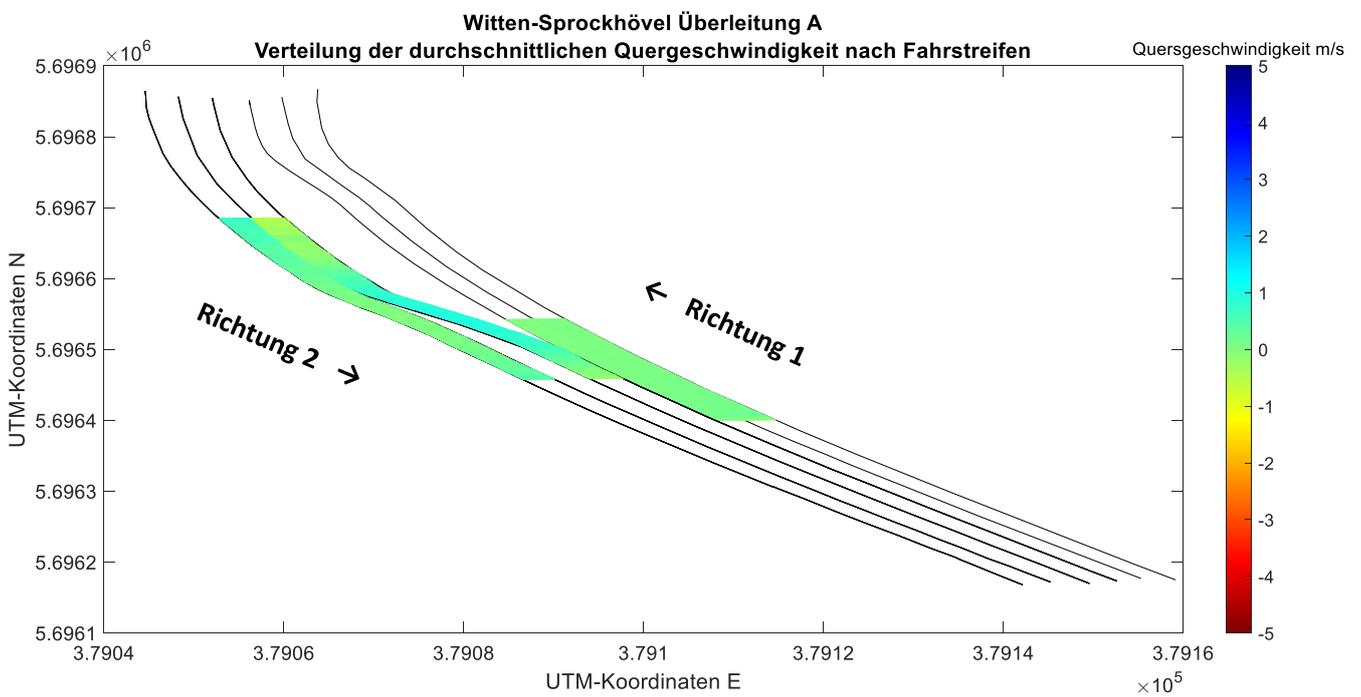


Abbildung 4: Ergebnisse nach Kriterien 2)

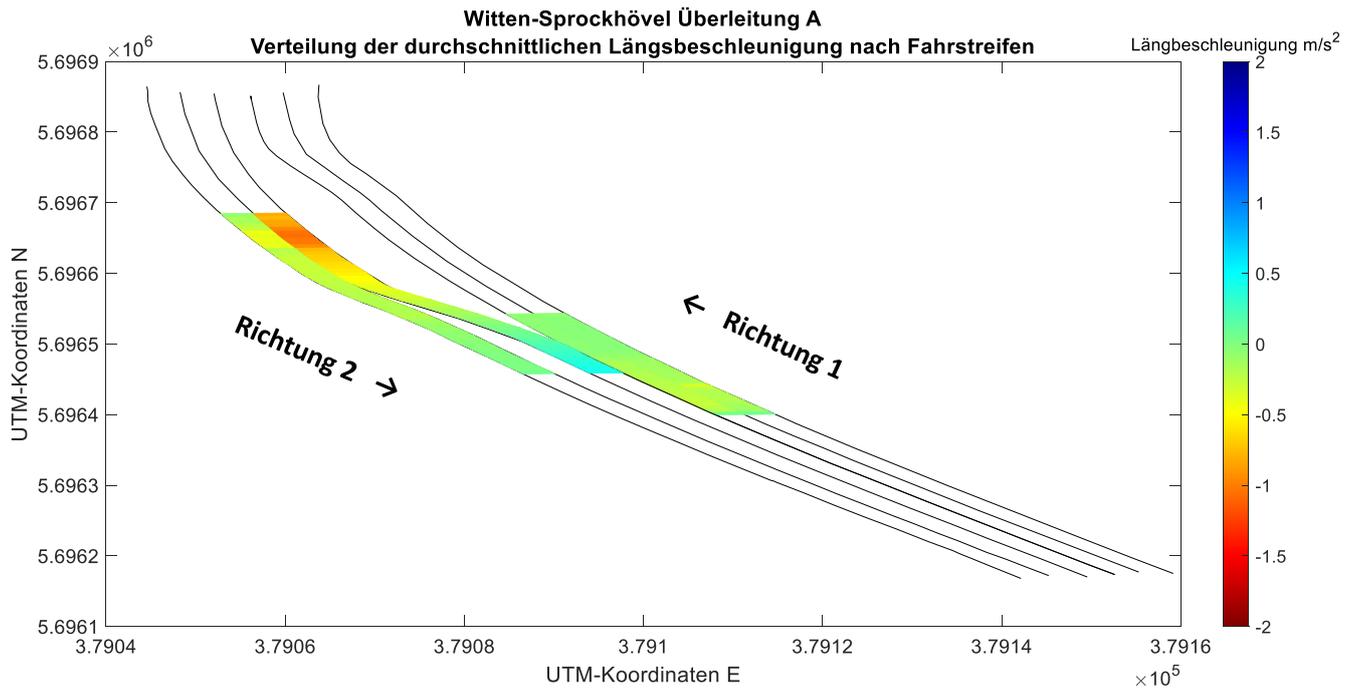


Abbildung 5: Ergebnisse nach Kriterien 3)

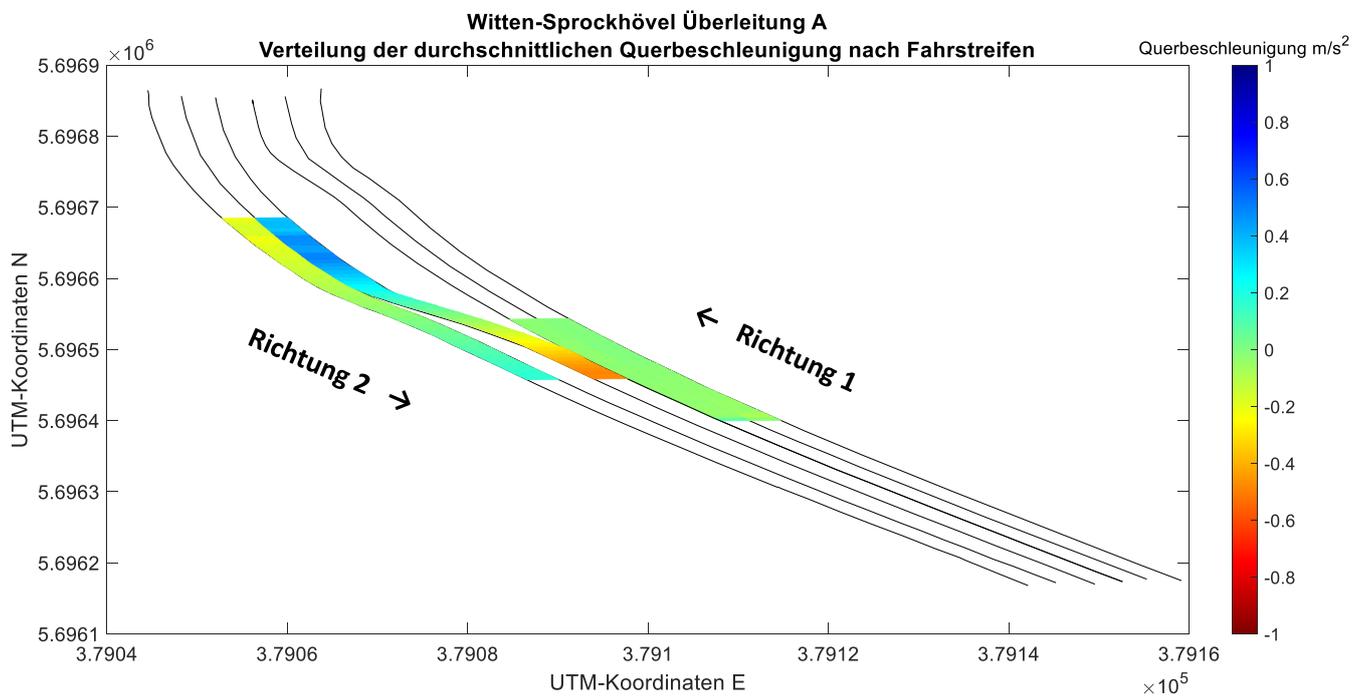


Abbildung 6: Ergebnisse nach Kriterien 3)

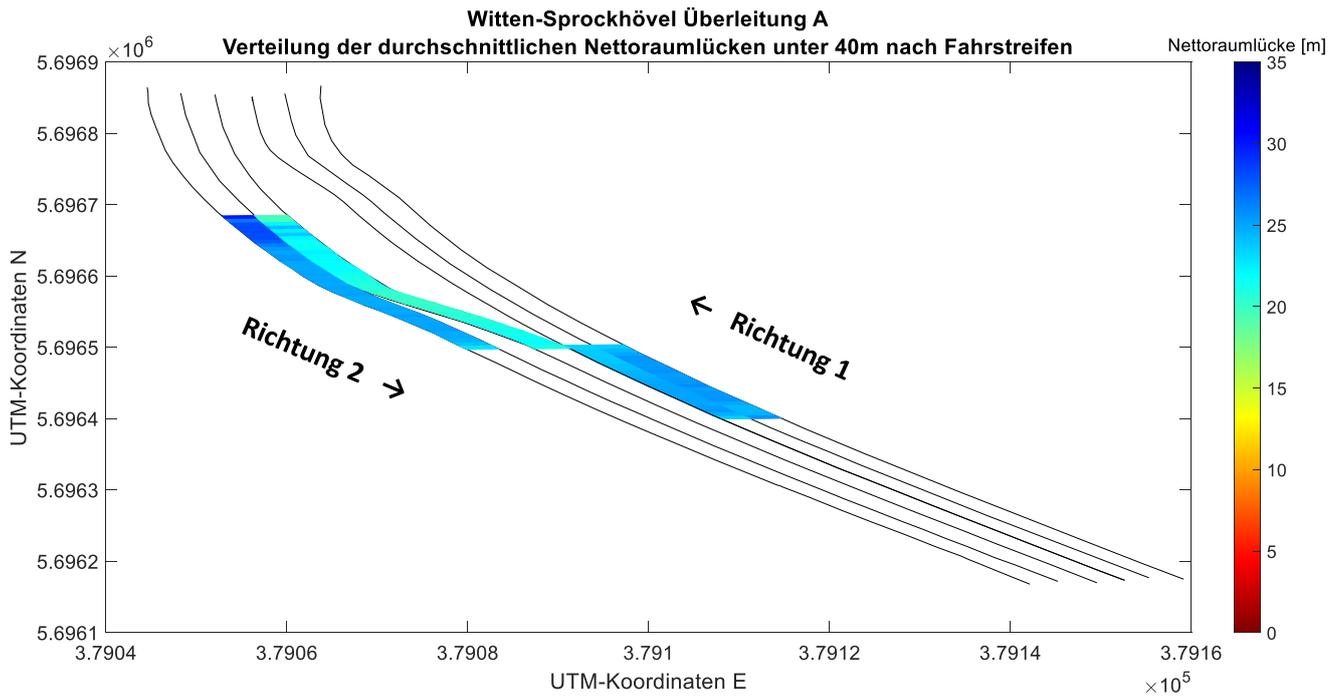


Abbildung 7: Ergebnisse nach Kriterien 4)

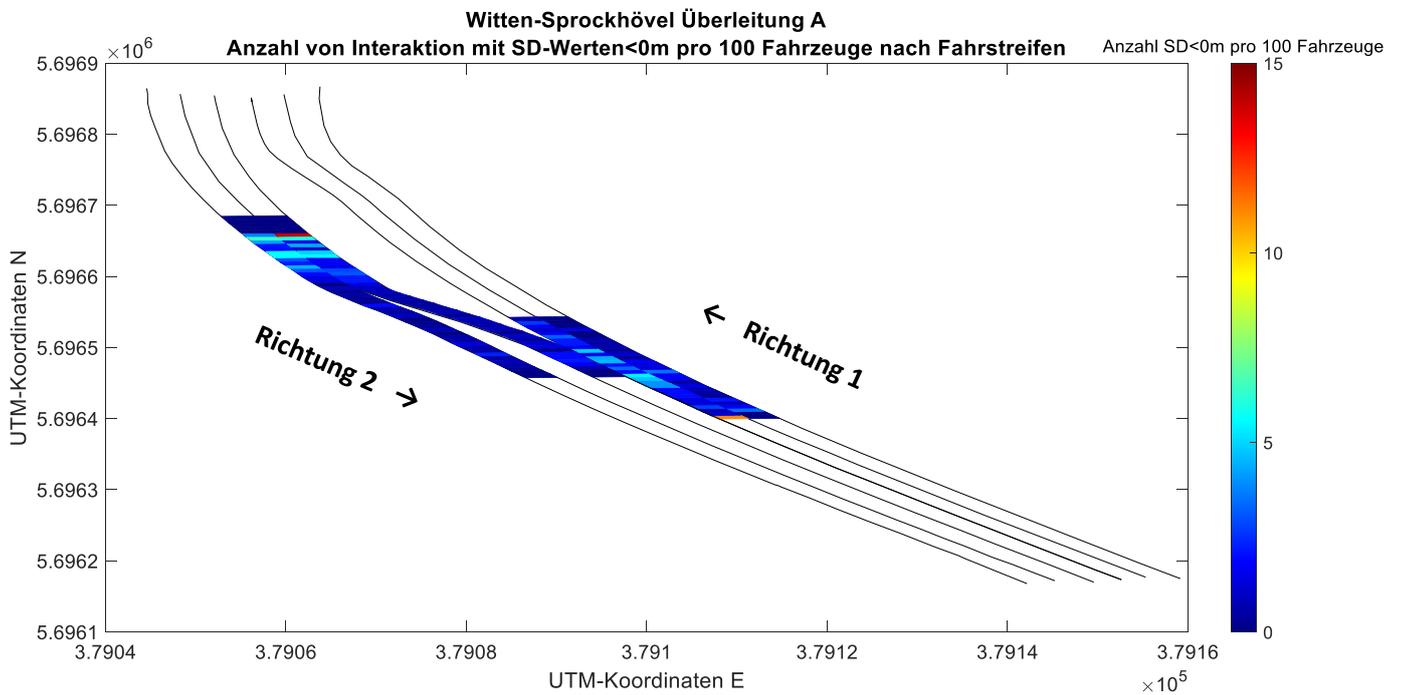


Abbildung 8: Ergebnisse nach Kriterien 5)

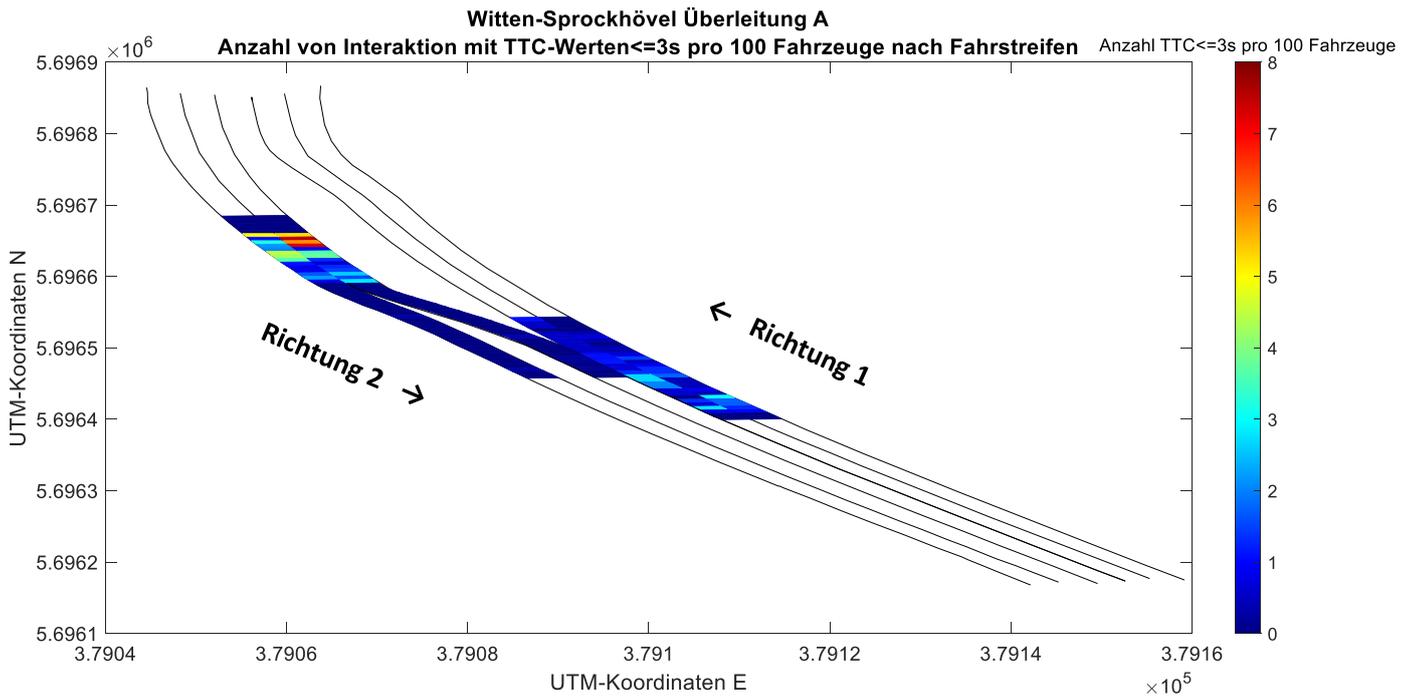


Abbildung 9: Ergebnisse nach Kriterien 5)

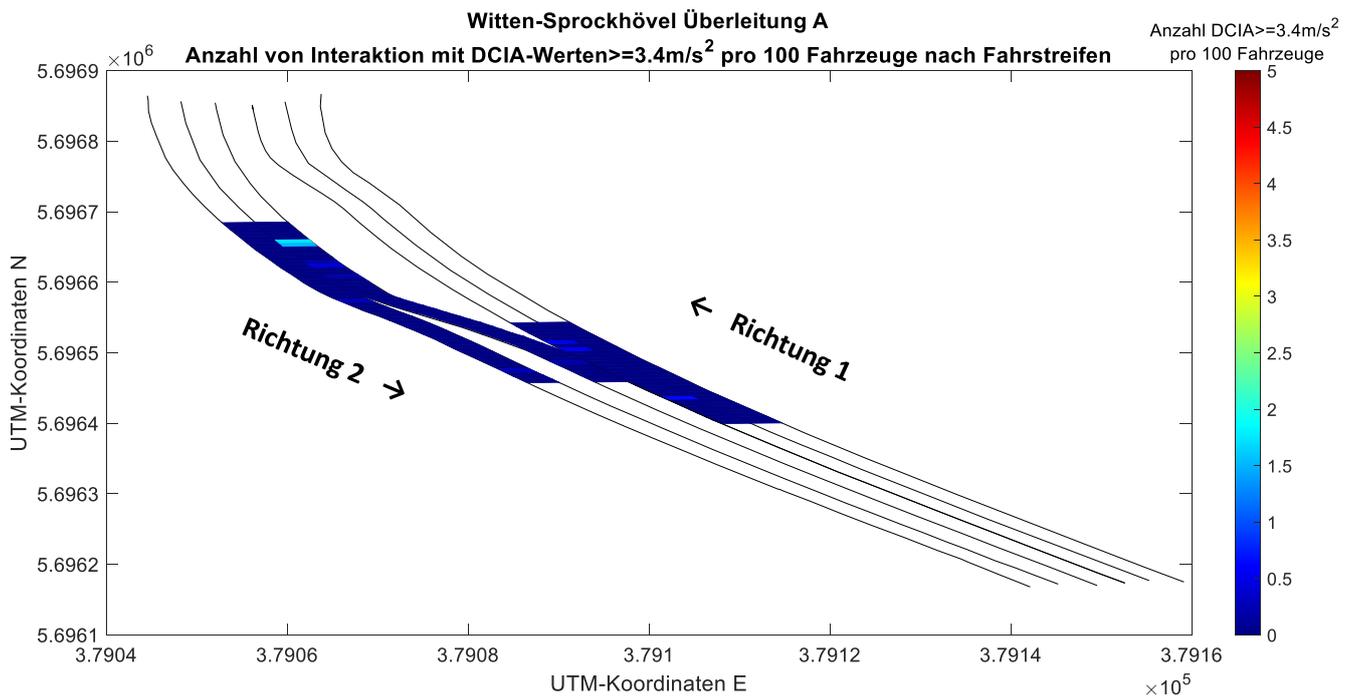


Abbildung 10: Ergebnisse nach Kriterien 5)