

Stand: 29. September 2023

Statistische Auswertung der Rohmessdaten einer Messreihe von ES3.0

D. Schäfer, J. Eichler, R. Schäfer, M. Grün; VUT Sachverständigen mbH & Co. KG

Zusammenfassung:

Diese Ausarbeitung soll verdeutlichen, dass eine technisch und wissenschaftlich fundierte Überprüfung bei vorhandenen Zweifeln am vorgeworfenen Messwert NUR in Verbindung mit der Auswertung der vollständigen, unselektierten Rohmessdaten möglich ist.

Die Auswertung der vorliegenden Messreihe mit insgesamt 1546 vermeintlich zu schnellen Fahrzeugen hat bei zwei davon ergeben, dass aufgrund der geräteinternen Selektion und Berechnung und einer jeweiligen Beeinflussung durch LED-Leuchten fehlerhafte Werte mit Abweichungen außerhalb der Verkehrsfehlergrenze entstanden sind.

Es wurde ferner festgestellt, dass bei ca. 9 % der dokumentierten Fälle die hergeleiteten Bedingungen zur Herstellung einer ausreichenden Messsicherheit nicht gegeben sind und sich bei ca. 21 % der dokumentierten Fälle eine geringere Geschwindigkeit als der ausgegebene Wert ergibt.

Durch die Abspeicherung der vollständigen und unselektierten Rohmessdaten können – und dies unabhängig vom betrachteten Messgerät – abweichende Ergebnisse aufgrund der betrachteten Datenmenge klar festgestellt und dem Gericht zur Entscheidung dargelegt werden. Gleichermaßen kann anhand der Rohmessdaten ein vorgeworfener Geschwindigkeitswert bestätigt oder aber eine relevante Abweichungen in Bezug auf die beanzeigte Bußgeldkategorie ausgeschlossen werden.

Die Rohmessdaten liefern somit die erforderliche Klarheit bei der technischen Bewertung und Einzelfallprüfung im OWi-Verfahren.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	4
2 Messverfahren.....	5
2.1 Funktionsweise / Messwertbildung.....	5
2.2 Weitere Erkenntnisse.....	6
3 Technischer Hintergrund – Datenselektion im Vergleich zur unabhängigen Auswertung.....	7
3.1 Verdeutlichung der Problematik beim Messgerät ES3.0.....	8
3.1.1 In der Höhe fehlerhafte Messwerte.....	8
3.1.2 Fehlmessungen aufgrund des Einflusses von LED-Leuchten.....	11
4 Technische Betrachtungen.....	15
4.1 Eich- und Verkehrsfehlergrenzen ES3.0.....	15
4.2 Vorwerfbarer Messwert.....	16
4.2.1 Grundlegende Betrachtungen.....	16
4.2.2 Betrachtungen zum konkreten Messverfahren.....	17
5 Grundlagen und Methodenbeschreibung.....	20
5.1 Mathematische Grundlagen Korrelationsrechnung.....	20
5.2 Implementierung im eigenen Programm Medab und Auswertemöglichkeiten.....	22
5.2.1 Rechenweg/Implementierung.....	22
5.2.2 Technische Auswertemöglichkeiten.....	24
5.3 Auswertekriterien.....	26
6 Fallstudie.....	27
6.1 Messgerät.....	27
6.2 Daten zur Messreihe.....	27
6.3 Ergebnis der Auswertung.....	28
6.3.1 Gesamt.....	28
6.3.2 Verteilung der abweichenden Messwerte – Kategorie „geringere Geschwindigkeit“.....	29
6.3.3 Verteilung der abweichenden Messwerte – Kategorie „höhere Geschwindigkeit“.....	30
6.3.4 Nicht verwertbare Messungen.....	30
6.3.5 Fehlmessungen mit Abweichungen außerhalb der Verkehrsfehlergrenze.....	30
6.3.6 Überprüfung zur Unterdrückung von Falldateien durch den „ed3-viewer“.....	34
6.4 Diskussion.....	35
6.4.1 Interpretation.....	35
6.4.2 Limitationen.....	36

7 Zusammenfassung und Ausblick.....	36
7.1 Zusammenfassung.....	36
7.2 Ausblick.....	37
Anhang.....	39
Literatur.....	48

1 Einleitung

Im Sinne guter wissenschaftlicher Praxis veröffentlichen wir diese Ausarbeitung, um uns der Diskussion in entsprechenden Fachkreisen zu stellen [1].

Seit Jahren wird kontrovers diskutiert, ob Rohmessdaten im verkehrsrechtlichen OWi-Verfahren eine nachträgliche Überprüfung eines vorgeworfenen Wertes ermöglichen und daher im Sinne eines fairen und rechtsstaatlichen Messverfahrens abzuspeichern und der Verteidigung zur Verfügung zu stellen sind.

Aus Sicht der VUT Sachverständigen bleibt zur Thematik ganz klar zu sagen:

Kein standardisiertes Messverfahren ohne Speicherung der Rohmessdaten!

Um diesen Standpunkt und die Relevanz der Rohmessdaten wissenschaftlich zu untermauern, haben wir beim Messgerät ES3.0 die vollständigen und unselektierten Rohmessdaten innerhalb einer Messreihe mit insgesamt 1546 Falldateien individuell ausgewertet und sachverständig bewertet.

Entsprechende Auswertungen sind aktuell lediglich bei diesem Gerätetyp möglich, da nur hier (mit Ausnahme von Videomessverfahren) die vollständigen und unselektierten Rohmessdaten gespeichert werden.

Im Rahmen dieser Ausarbeitung werden zunächst die Funktionsweise/Messwertbildung sowie weitere Erkenntnisse zum Einseitensensor beschrieben. Im Anschluss wird der technische Hintergrund der **Datenselektion** des Herstellers im Vergleich zur **unabhängigen Auswertung der Rohmessdaten** anhand von zwei Fallbeispielen demonstriert. Weiterhin erfolgt noch eine technische Betrachtungen zu den Punkten Fehlergrenzen und vorwerfbarer Messwert.

Zur Auswertung der Messreihe erfolgt zunächst eine Grundlagen- und Methodenbeschreibung und anschließend die Beschreibung der Fallstudie.

Die Ausarbeitung soll insgesamt demonstrieren, dass eine technisch und wissenschaftlich fundierte Überprüfung bei vorhandenen Zweifeln am vorgeworfenen Messwert NUR in Verbindung mit der Auswertung der vollständigen, unselektierten Rohmessdaten möglich ist.

Aus technischer Sicht bleibt dabei grundsätzlich zur Möglichkeit von Fehlmessungen und zur Beurteilung der Richtigkeit eines vorgeworfenen Geschwindigkeitswertes in Übereinstimmung mit J. Cierniak [2] festzuhalten:

„Ein Erfahrungssatz, wonach alle gebräuchlichen Geschwindigkeitsmessgeräte unter allen Umständen zuverlässige Ergebnisse liefern, existiert nicht.“

2 Messverfahren

Häufig wird bei diesem Messgerät unkritisch vom Ergebnis als einem Messwert gesprochen. Dies impliziert, dass der angezeigte Wert aus einer einfachen Messung entstanden ist, die mit einer Zeitmessung mit einer Stoppuhr oder einer Spannungsmessung mit einem Zeigerinstrument vergleichbar ist.

Diese Analogie greift zu kurz, denn im vorliegenden Fall wird nicht die Zeit direkt, sondern die elektrische Spannung gemessen. Die Bildung des „Mess“werts für die Zeit erfolgt in einem mehrstufigen Verfahren:

Diese Analogie zu einem Zeigerinstrument und die daraus folgenden Schlüsse beispielsweise zur Fehlerverteilung ist falsch, da die „Mess“wertbildung hier in einem mehrschrittigen Verfahren erfolgt:

1. Messung der Rohmessdaten, hier der Spannungsverläufe an der Sensorik
2. Danach liegen die Rohmessdaten vor
3. Selektion passender Daten, d. h. passender Abschnitte der Rohmessdaten
4. Berechnung der Zeitverschiebungen und damit mittelbar auch der Geschwindigkeit

Messen im klassischen Sinne hat nämlich folgende Bedeutung [3]:

„Messen ist der experimentelle Vorgang, durch den ein spezieller Wert einer physikalischen Größe (Größenwert) als Vielfaches einer Einheit oder eines Bezugswertes ermittelt wird. Die physikalische Größe, die durch die Messung erfaßt wird, nennt man Meßgröße, ihren Wert Meßwert. Das Meßergebnis wird im allgemeinen aus mehreren einzeln ermittelten Meßwerten

einer einzigen Meßgröße oder aus Meßwerten verschiedenartiger Meßgrößen mit Hilfe einer vorgegebenen eindeutigen Beziehung erhalten.“

Aufgrund der Selektion der zu nutzenden Messwerte aus der Gesamtheit der Rohmessdaten geht hier (bei ES3.0, aber auch anderen komplexen Messsystemen) die eindeutige Beziehung zwischen den Rohmessdaten und dem Endergebnis verloren, so dass es sich um keine Messung im obigen Sinne handelt.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird nachfolgend trotzdem an diversen Stellen der allgemein übliche Begriff des Messwertes (Messtechnik, Messungen..) verwendet, was aber nichts an den oben gemachten Einschränkungen ändert.

2.1 Funktionsweise / Messwertbildung

Im Sensorkopf des ES3.0 sind fünf passive optische Sensoren verbaut, von denen drei zur Geschwindigkeitsermittlung und zwei zur Abstandsbestimmung zum gemessenen Objekt dienen. Jeder der fünf Sensoren besteht aus (mindestens) zwei nebeneinander angeordneten Fotodioden und liefert ein von der Helligkeitsdifferenz abhängiges Signal. Die Abtastrate beträgt 100 kHz.

Bei der geräteinternen Auswertung wird der Zeitversatz zwischen den Helligkeitsverläufen und deren Grad an Übereinstimmung durch Korrelationsrechnung ermittelt. Es werden dabei Teilbereiche aus dem aufgezeichneten Helligkeitsprofil selektiert, was aufgrund möglicher Störfaktoren im Signalverlauf (wie etwa Anteile der Fahrzeugräder) auch notwendig ist. Umfang und Auswahl des herangezogenen Datenbereichs sind nicht bekannt.

Zur Messwertbildung wird in der innerstaatlichen Bauartzulassung bzw. ihrer 7. Neufassung [4] im Wesentlichen lediglich Folgendes ausgeführt:

„(... Es) wird die Geschwindigkeit von Fahrzeugen nach dem Verfahren der Weg-Zeit-Messung mit drei passiven optischen Sensoren bestimmt (... Der Sensor ermittelt ein von der Helligkeitsdifferenz abhängiges Signal. (... Die digitalisierten Helligkeitsprofile werden über eine Korrelationsrechnung ausgewertet, um den zeitlichen Versatz der Signalverläufe zu ermitteln.“

Auch in der Gebrauchsanweisung [5] wird das Messprinzip vergleichbar beschrieben.

2.2 Weitere Erkenntnisse

Beim Messgerät ES3.0 werden im Vergleich zu anderen Messgeräten (wie z. B. PoliScan, Traffistar, etc.) bekanntermaßen die bei der Messung **aufgezeichneten Rohmessdaten vollständig** in der Falldatei gespeichert, so dass eine **unabhängige Überprüfung** möglich ist.

Im Rahmen der unabhängigen Auswertung der Daten wurde bereits relativ frühzeitig dokumentiert, dass bei der geräteinternen Auswertung standardmäßig offenbar **nicht** die gesamte Datenmenge zur Auswertung herangezogen und geprüft, sondern lediglich ein geringer Teilbereich aus dem Messsignal zur Auswertung selektiert wird [6].

Dies wurde im Laufe der Zeit auch durch den Gerätehersteller bestätigt. Durch den Entwicklungsleiter des Geräteherstellers wurde im Rahmen einer richterlichen Vernehmung bzgl. der Selektion von Teilbereichen im Messsignal beim ES3.0 angegeben, dass dem Messgerät zur Bildung eines gültigen Geschwindigkeitswertes „*ein Peak genügt*“ [7].

Durch die unabhängige Auswertung der Rohmessdaten konnte gezeigt werden, dass aufgrund der Datenselektion des Herstellers in der Höhe fehlerhafte Werte (Geschwindigkeit und Abstand) entstehen können. Die technischen Auswirkungen bei der Auswertung eines nur sehr geringen Datenbereichs werden in Kapitel 3 beschrieben.

Abseits der offiziellen Dokumente zum Messgerät (Zulassungsunterlagen und Gebrauchsanweisung) haben sich zur geräteinternen Auswertung durch Stellungnahmen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) [8] bzw. Mitteilung des Herstellers (siehe etwa [9]) noch folgende Erkenntnisse ergeben:

- Der erforderliche Korrelationskoeffizient beläuft sich laut PTB auf 92 %. Dieser wurde ursprünglich nicht von der PTB geprüft und sei vormals fälschlicherweise mit 95 % angegeben worden. Weiterhin wird laut der Stellungnahme der PTB ein Korrelationskoeffizient von 70 % für nicht ausreichend gehalten.
- Beim ausgegebenen Geschwindigkeitswert handelt es sich laut Herstellerangaben um den Mittelwert, „*der nach der Güte der Kurven gewichtet ist*“.

Zu diesen Angaben bleibt aus technischer Sicht festzustellen, dass die Untersuchung alter Messdateien des ES3.0 bis einschließlich Softwareversion 1.002 durch die VUT gezeigt hat, dass

- bei der geräteinternen Auswertung Korrelationskoeffizienten von **minimal 0,75** (also 75 %) und damit deutlich weniger als 92 % abgespeichert waren und
- vom Messgerät auch dann ein Messwert (als Mittelwert) errechnet wird, wenn zwischen den Sensoren **lediglich zwei** Einzelmesswerte anstatt drei ermittelt werden konnten. Weiterhin wurden Schwankungen zwischen den Einzelmesswerten von bis zu 2,5 % und maximale Abweichungen zwischen dem geringsten Einzelmesswert zum Mittelwert von bis zu 1,6 % vom Messgerät „geduldet“.

Eine weitergehende Beschreibung hierzu findet sich auch in [10].

3 Technischer Hintergrund – Datenselektion im Vergleich zur unabhängigen Auswertung

Während durch die Auswertung des Messfotos lediglich eine Plausibilitätsprüfung erfolgen kann, ist in Verbindung mit der Auswertung der vollständigen und unselektierten Rohmessdaten eine vollumfängliche, technische Überprüfung des vorgeworfenen Geschwindigkeitswertes möglich.

Bezüglich der Rohmessdaten ist – wie von uns in mehreren Stellungnahmen (siehe etwa [11], [12], [13]) bereits dargelegt wurde – grundlegend zwischen den vom Messgerät zur internen Auswertung **selektierten Daten** und den **vollständigen, unselektierten Rohmessdaten** zu unterscheiden.

Oder vereinfacht ausgedrückt: Es gilt nicht die Geschwindigkeit anhand der vom Messgerät selektierten Daten „nachzuberechnen“; es geht darum zu prüfen, ob die vom Messgerät herangezogenen Daten korrekt ausgewählt wurden bzw. ob der vorgeworfene Messwert durch die unabhängigen Auswertung der unselektierten Daten zu bestätigen ist.

3.1 Verdeutlichung der Problematik beim Messgerät ES3.0

Die Messwertbildung beim Einseitensensor basiert auf einer Mittelwertberechnung über einen kurzen und unbekanntem Datenabschnitt (Stichwort: „*Ein Peak genügt*“), d. h. es wird ein unbekannter Teilbereich aus den aufgezeichneten Signalen zur Auswertung **selektiert**.

Die geräteinterne Auswertung eines nur geringen Datenabschnitts kann zu in der Höhe fehlerhaft ermittelten Geschwindigkeits- und Abstandswerten ([10], [14]) führen.

Dies kann im Rahmen einer **eigenständigen und unabhängigen Auswertung der Rohmessdaten** durch einen Sachverständigen festgestellt werden, da dieser die **gesamte aufgezeichnete Datenmenge betrachtet** und **sämtliche Teilbereiche** einer Auswertung unterziehen kann.

Durch die sachverständige Auswertung können dementsprechend abweichende Ergebnisse aufgrund der betrachteten Datenmenge, des Datenabschnitts, von LED Einflüssen und/oder der Berechnungsweise (Mittelwert) klar festgestellt und dem Gericht zur Entscheidung dargelegt werden.

Dies soll im Folgenden zunächst anhand von zwei bereits veröffentlichten Fallbeispielen (vertiefte Darstellungen, siehe [10] bzw. [25]) kurz verdeutlicht werden.

3.1.1 In der Höhe fehlerhafte Geschwindigkeitswerte

Das erste Fallbeispiel mit sehr einfachem Signalverlauf zeigt, dass die **Datenselektion durch den Hersteller** und die **Auswertung eines offenbar nur sehr geringen Teilabschnitts zu technisch falschen Werten** führen kann.

Bei der entsprechenden Messung wurden lediglich zwei „Datenpakete“ bei der Ein- und Ausfahrt des Fahrzeuges („Front“ und „Heck“), aufgezeichnet. Störfaktoren, wie beispielsweise Anteile der Fahrzeugräder, sind nicht vorhanden. Vom Messgerät wurde hier eine Geschwindigkeit von 131 km/h angezeigt.

Die Berechnung der Korrelationsfunktion ergibt bereits über die gesamte Aufzeichnungsdauer zwischen allen drei Sensoren Geschwindigkeitswerte von jeweils abgerundet 129 km/h bei Korrelationskoeffizienten von durchweg mehr als 0,99.

Die folgende Abbildung zeigt zunächst die geöffnete Falldatei im eigenen Auswerteprogramm Medab sowie die etwaige Durchfahrt des Fahrzeuges durch den Sichtbereich der Sensoren.

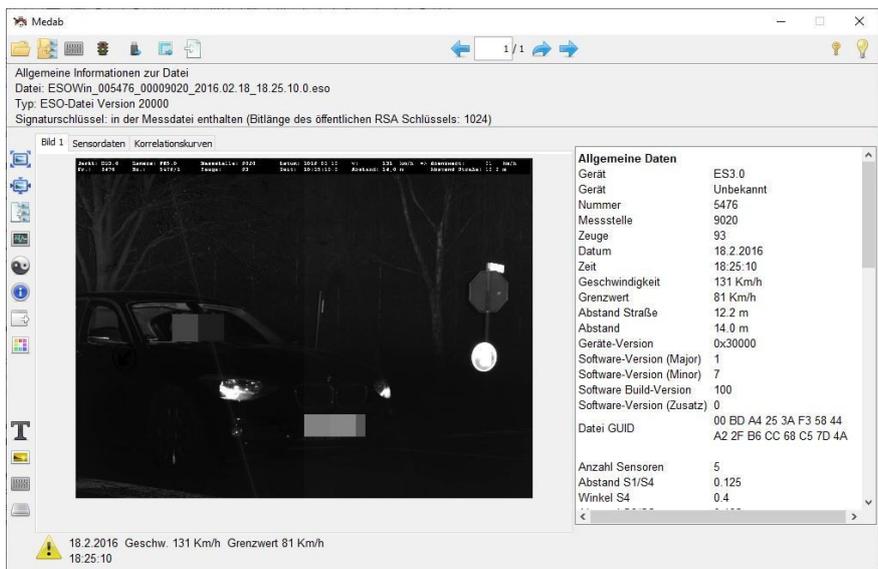


Abbildung 1: geöffnete Falldatei im eigenen Auswerteprogramm Medab



Abbildung 2: Durchfahrt des Fahrzeuges durch den Sichtbereich der Sensoren

Bei der abschnittswiseen Auswertung ergeben sich über die „Fahrzeugfront“ Geschwindigkeitswerte von **129,68 km/h bis 130,24 km/h**. Über das „Fahrzeugheck“ errechnen sich Werte zwischen **129,12 km/h und 129,31 km/h**. Die Korrelationskoeffizienten betragen bei beiden Abschnitten jeweils mehr als 0,99.

Der vom Messgerät ausgegebene Geschwindigkeitswert von 131 km/h ist insofern **nicht** einmal als Einzelwert bei der abschnittswisen Auswertung über die vorhandenen Teilbereiche nachzuziehen und insofern aus technischer Sicht **nachweislich falsch**.

Die folgenden Abbildungen zeigen die abschnittswise Auswertung der beiden Teilbereiche.

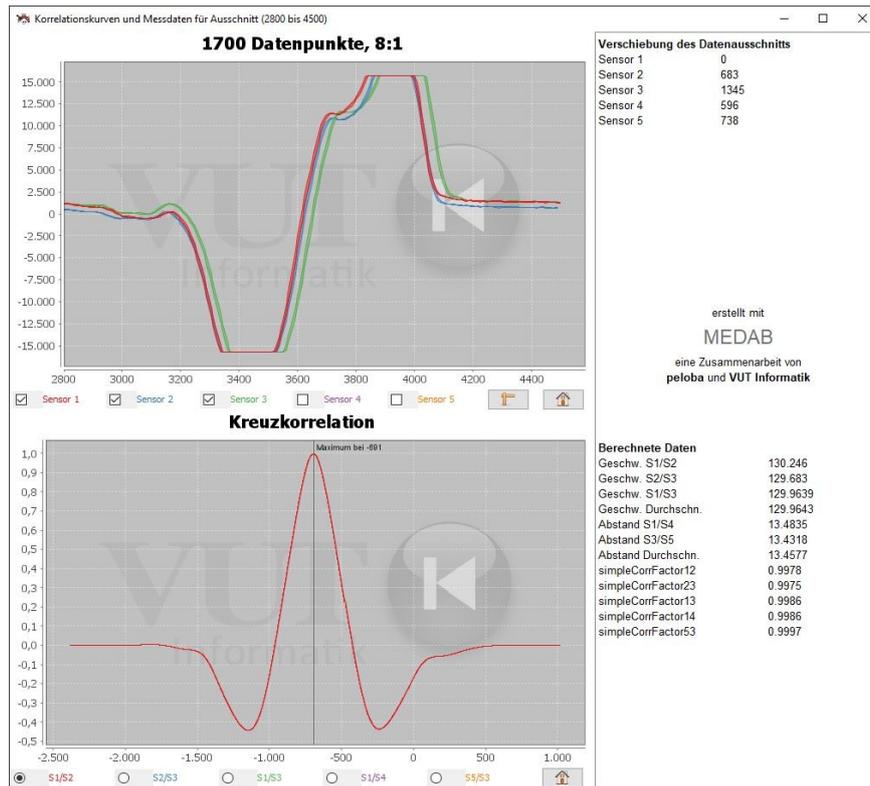


Abbildung 3: abschnittswise Auswertung an der „Front“

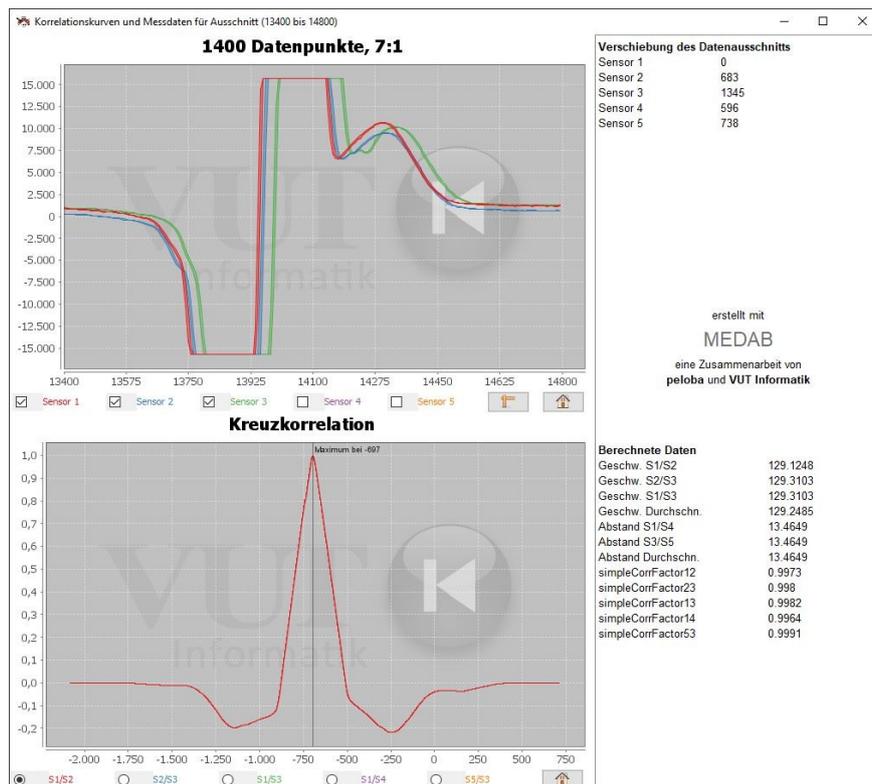


Abbildung 4: abschnittsweise Auswertung am „Heck“

3.1.2 Falsche Werte aufgrund des Einflusses von LED-Leuchten

Die Möglichkeit von falschen Geschwindigkeits- und Abstandswerten beim Einseitensensor ES3.0 aufgrund des Einflusses von LED-Leuchten am Fahrzeug wurde bereits durch verschiedene Veröffentlichungen von mehreren Sachverständigen aufgezeigt und nachvollziehbar beschrieben (siehe etwa [10], [15], [16], [17]).

Durch die PTB wird die entsprechende Problematik bislang geleugnet [18].

Nach der Veröffentlichung des folgenden Fallbeispiels durch VUT (Stellungnahme vom 22.04.2022 [25]) schweigt sich die PTB zur Problematik aus. Das entsprechende Fallbeispiel stammt aus der im Folgenden ausgewerteten Messreihe.

Durch die technische Eindeutigkeit dieses Fallbeispiels wurde sowohl die Möglichkeit von Fehlmessungen durch den Einfluss von LED-Leuchten als auch die Bedeutung der vollständigen und unselektierten Rohmessdaten für die Überprüfung einer Messung – und insofern auch die Notwendigkeit von deren Speicherung – zweifelsfrei belegt.

Die entsprechenden Darstellungen der PTB [18] sowie Äußerungen zur Aussagekraft von Rohmessdaten [19], [20] sind damit eindeutig als **falsch** widerlegt.

Die folgenden Abbildungen zeigen den entsprechenden Signalverlauf (Fahrzeugdurchfahrt) sowie die abschnittsweise Auswertung von „Front“ und „Heck“. Die typischen LED-Peaks im Signalverlauf sind bei der abschnittweisen Auswertung über die Front rein optisch bereits eindeutig erkennbar und wurden zusätzlich markiert.

Durch die abschnittsweise Auswertung der LED-Peaks im Bereich der Front sowie die Auswertung des unbeeinflussten Abschnitts am Heck lässt sich hier eindeutig eine um **6 bis 7 km/h geringere Geschwindigkeit (82 km/h bis 83 km/h)** sowie ein um ca. **4,4 m falscher Abstandswert** belegen. Vom Messgerät wurde eine Geschwindigkeit von 89 km/h bei einem seitlichen Abstand von 6 m ermittelt.

Zur vertieften Beschreibung des gezeigten Signalverlaufs sei auf die entsprechenden Ausführungen in [14] verwiesen.

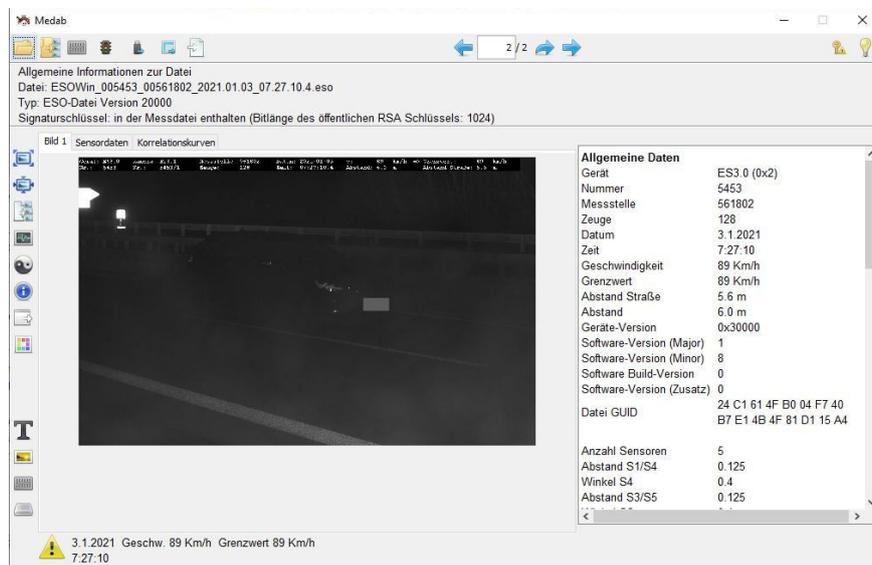


Abbildung 5: geöffnete Falldatei im eigenen Auswerteprogramm Medab

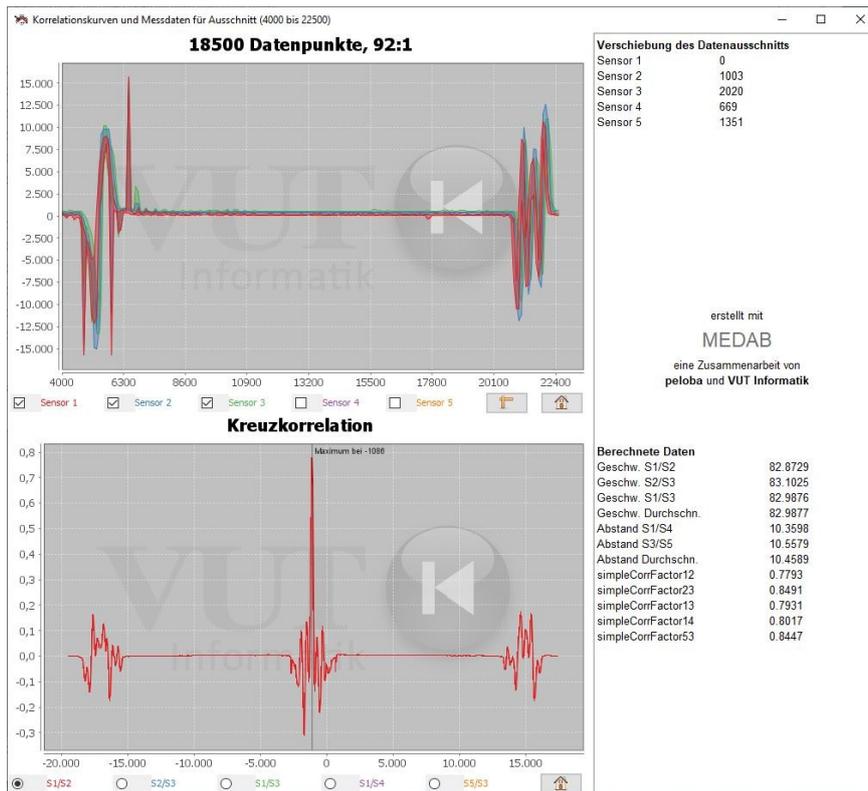


Abbildung 6: Durchfahrt des Fahrzeuges

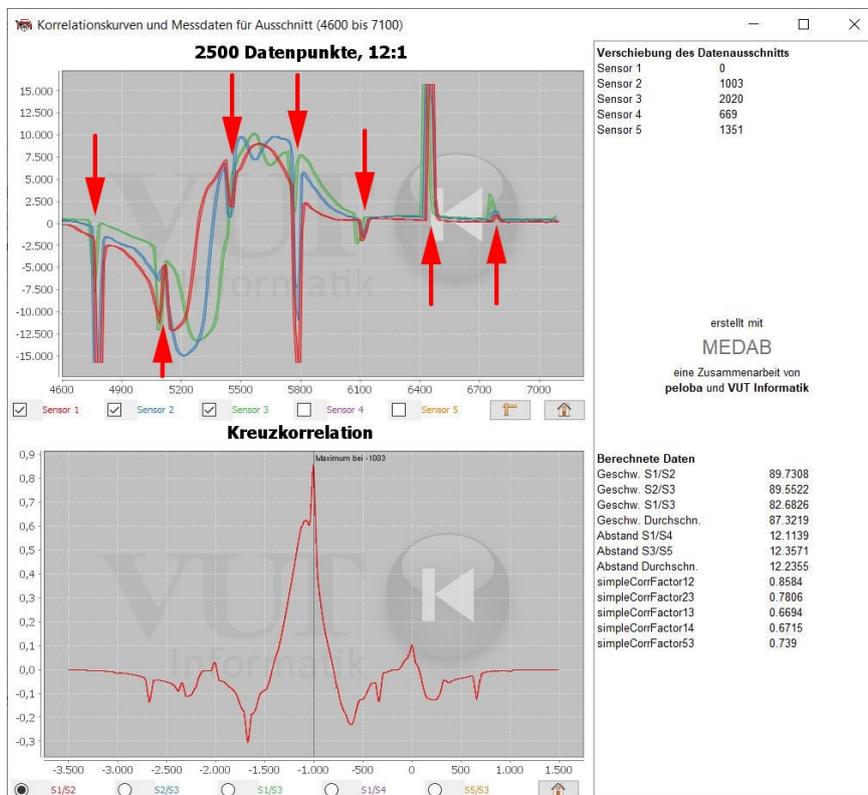


Abbildung 7: abschnittsweise Auswertung an der „Front“

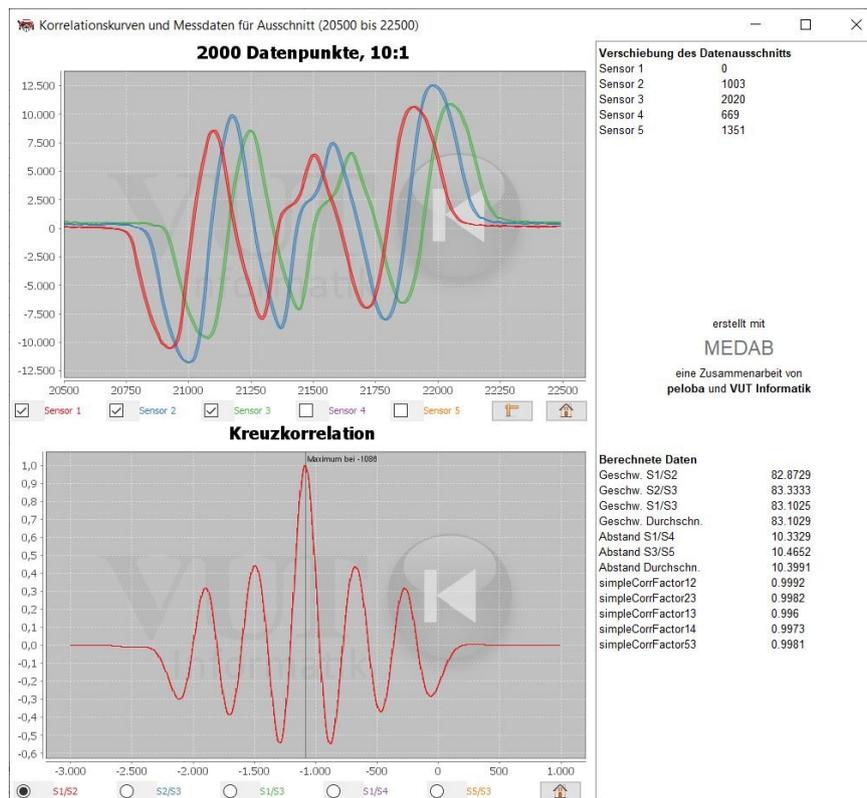


Abbildung 8: abschnittsweise Auswertung am „Heck“

Dieses Fallbeispiel hat im Übrigen auch eindeutig gezeigt, dass „*ein Peak*“ – entgegen der Auffassung des Herstellers – offensichtlich **nicht** genügt, um eine ausreichende Messsicherheit herzustellen.

Hierfür ist – wie von der VUT bereits seit langer Zeit gefordert – eine Verifizierung der Geschwindigkeit an unterschiedlichen Stellen im Signalverlauf (z. B. Front und Heck) erforderlich.

Die Problematik entsprechender Fehlmessungen durch den Einfluss von LED-Leuchten wurde mittlerweile offenbar auch vom Hersteller als reales Problem erkannt:

Weitere Untersuchungen durch VUT [21] haben gezeigt, dass – trotz der bisherigen Leugnung der Problematik durch die PTB – zwischenzeitlich im offiziellen Referenz-Auswerteprogramm „*esoDigitales3 - Viewer*“ des ES8.0 eine Funktion integriert wurde, die nun bei Falldateien des ES3.0 anhand der Rohmessdaten versucht, genau solche Fälle (nachträglich) zu unterdrücken. Öffentliche Informationen hierzu existieren nicht.

Zusammengefasst wird hierdurch aus technischer Sicht (unfreiwillig) eingeräumt, dass

- 1. Fehlmessungen aufgrund des Einflusses von LED-Leuchten an Fahrzeugen bei den Einseitensensoren kein „hypothetisches Szenario“ darstellen und dies auch vom Hersteller als konkretes Problem und systemischer Fehler erkannt wurde.**
- 2. Zu entsprechenden Überprüfungen und Feststellungen – entgegen der Darstellungen der PTB und auch des BVST – die vollständigen und unselektierten Rohmessdaten unerlässlich sind.**

Überprüfungen weiterer Falldateien mit LED-Einfluss in der Signalaufzeichnung zeigen zudem, dass von der Auswertesoftware allerdings

- weiterhin Falldateien mit deutlichem LED-Einfluss in der Signalaufzeichnung geöffnet werden und
- eine verifizierende Auswertung über einen weiteren (unbeeinflussten) Signalabschnitt offenbar weiterhin keine Bedingung der Auswertesoftware für eine „gültige Messung“ darstellen kann.

Im Übrigen sei darauf hingewiesen, dass eine Reaktion von PTB und Hersteller zur entsprechenden Veröffentlichung aus November 2022 [21] bis dato aussteht.

4 Technische Betrachtungen

In Verbindung mit der unabhängigen Auswertung der Rohmessdaten erfolgt im Folgenden zunächst eine technische Betrachtung zu den Punkten „Eich- und Verkehrsfehlergrenzen“ sowie „vorwerfbarer Messwert“.

4.1 Eich- und Verkehrsfehlergrenzen ES3.0

Die Fehlergrenzen bei der **labormäßigen Prüfung** des Messgeräts (Eichung) entsprechen den sogenannten **Eichfehlergrenzen**¹.

¹ Vgl. § 3 Nr. 6 MessEG i. V. m. §§ 7, 37 (2) und Anlage 2 MessEV

Durch diese Fehlergrenzen werden systematische Abweichungen, wie beispielsweise durch Fertigungstoleranzen bedingte Abweichungen von der Sollmessstrecke berücksichtigt. Die einzuhaltenen Toleranzen bezüglich der Messbasis des Sensorkopfes betragen gemäß der aktuellen Eichrichtlinie [22] für die Mess- und Kontrollstrecke jeweils +/- 2,5 mm. Bei der Ersteinrichtung erfolgt eine Überprüfung der Ausrichtung der Sensoren sowie der Messwertbildung anhand eines Lauflichtsimulators. Bei Nacheichungen ist zur Überprüfung der Ausrichtung der Sensoren und dem (grundlegenden) Ansprechverhalten der einzelnen Fotodioden ist alternativ zum Lauflichtsimulator auch eine Funktionsprüfung durch Lichteinstrahlung auf die Sensoren mittels einer Leuchtschablone zulässig. Die Messwertbildung kann gemäß Punkt 3.3.2.4 („Kontrolle der Messwertbildung mit dem Taktgenerator“) unabhängig vom Sensorkopf mit den vom Taktgenerator gelieferten Signalen (mit bekannten zeitlichen Abstand) überprüft. Hierbei darf die angezeigte Geschwindigkeit von der simulierten Geschwindigkeit um +/- 1 km/h bis 150 km/h und maximal 2 km/h bei Messwerten über 150 km/h abweichen [22].

Durch die Verdopplung der Eichfehlergrenze ergibt sich die **Verkehrsfehlergrenze²**, durch welche dann die Abweichungen im Betrieb, d. h. **unter realen Einsatzbedingungen**, abgedeckt werden sollen. **Hierbei ist zu berücksichtigen, dass nunmehr Fahrzeugkonturen unter der Einwirkung von äußeren Einflüssen wie etwa Fremdlicht, abgetastet werden.**

Ferner ist zu berücksichtigen, dass aus technischer Sicht auch von außen nicht unmittelbar erkennbare Fehlerquellen – wie etwa durch Alterungsprozess bedingte Abweichungen in der Elektronik (z. B. das Ansprechverhalten von Fotodioden, Operationsverstärker etc.) – erfasst sein müssen. Auch soll laut Gebrauchsanweisungen durch die Verkehrsfehlergrenze eine evtl. Schrägstellung des Sensors von 2° erfasst sein.

Oder vereinfacht ausgedrückt: Die im Messbetrieb aufgezeichneten Signale können bereits in der Entstehung sowie aufgrund der technischen Verarbeitung fehlerbehaftet sein.

4.2 Vorwerfbarer Geschwindigkeitswert

4.2.1 Grundlegende Betrachtungen

Zur Beurteilung der Richtigkeit eines Messwertes sind aus technischer Sicht Betrachtungen unter zwei Aspekten erforderlich:

² Vgl. §§ 3 Nr. 21, 31 (2) Nr. 1 MessEG, i. V. m. § 22 MessEV

Geringster Fehler: Werden bei einer Messung mehrere Einzelmesswerte ermittelt, so ist durch Berechnung des Mittelwertes die minimale Abweichung des ausgegebenen Messwertes zu den Einzelmesswerten sichergestellt. Hier ist die Annahme zulässig, dass der Mittelwert dem realen Wert am nächsten kommt. Dabei können Abweichungen in beide Richtungen auftreten, d. h. der reale Wert kann durch die Mittelwertberechnung über- oder unterschätzt werden.

Sicherheit: Bei Messungen, bei denen aus einem zu geringen Wert ein Schadensereignis resultieren kann (z. B. die Abschätzung der erforderlichen Bremsverzögerung für eine gegebene Geschwindigkeit), ist es notwendig den größten gemessenen Wert zugrunde zu legen um die nötige Sicherheit zu erreichen.

Umgekehrt verhält es sich bei der Bestimmung eines vorwerfbaren Geschwindigkeitswertes. Dort würde ein Schaden durch einen zu hohen Wert entstehen. Insofern ist hier der niedrigste Wert anzusetzen.

4.2.2 Betrachtungen zum konkreten Messverfahren

Beim Messgerät ES3.0 (und auch beim Nachfolgemodell ES8.0) ist – wie bereits beschrieben – soweit bekannt, dass eine Mittelwertberechnung über eine kurzen und unbekanntes Datenabschnitt („*Ein Peak genügt*“) erfolgt.

Eine **Verifizierung** des hierbei ermittelten Geschwindigkeitswertes über einen weiteren Datenabschnitt ist demnach nicht für erforderlich gehalten worden.

An dieser Stelle erscheint zur besseren Verständlichkeit der technischen Betrachtungen zum vorwerfbaren Messwert zunächst auch eine kurze Beschreibung der bei Vorgängermodellen bekannt gewordenen Problematik geboten.

Bei der Vorgängertechnik der Einseitensensoren, den Lichtschrankenmessverfahren (z. B. μ p80-Anlage), hat sich gezeigt, dass neben der Einfahrtsmessung die Durchführung der Ausfahrtsmessung zum Ausschluss wesentlicher Fehler bei der Messwertbildung **unerlässlich** ist.

Das Auftreten der sogenannten Stufenprofilmessung bei den Lichtschrankenmessverfahren wurde dabei erst im Messbetrieb und nicht etwa im Rahmen der Zulassungsprüfung durch die PTB festgestellt. Als Folge der Stufenprofilmessungen wurde anschließend vorgeschrieben, dass neben

der **Einfahrtmessung** auch eine **Ausfahrtmessung** durchzuführen ist. Die bei der Ein- und Ausfahrtmessung ermittelten Zeitwerte müssen dabei innerhalb bekannter Toleranzen liegen und letztendlich muss der geringere Messwert angezeigt werden. Die Anzeige des „kleineren Messergebnisses“ war bei Weg-Zeit-Messgeräten, zu denen die Lichtschrankenmessverfahren und somit auch die technisch weiterentwickelten Einseitensensoren zählen, bis zur Fassung der PTB-A vom 01.12.2005 [23] eine wesentliche Anforderung.

Die bei den Lichtschrankenmessverfahren aufgetretene Problematik der Stufenprofilmessung ist zwar nicht 1:1 auf die Einseitensensoren übertragbar, allerdings sind ähnliche Effekte aus technischer Sicht nicht ohne Weiteres auszuschließen.

Bezogen auf die beschriebene Auswerteweise des Herstellers bei den Einseitensensoren über lediglich „*einen Peak*“ hat sich ebenfalls gezeigt, dass dies offensichtlich **nicht genügt** um eine **ausreichende Messsicherheit herzustellen** (siehe Kapitel 3.1.2).

Vielmehr ist dazu eine Verifizierung der Geschwindigkeit über mindestens einen weiteren Signalabschnitt erforderlich.

Zu dieser Thematik wurde durch theoretische Betrachtungen bereits gezeigt, dass – wenn solche Vergleiche in der selben Aufzeichnung **nicht** möglich sind – auch Fehler bei der Messwertbildung (unabhängig von der später bekannt gewordenen LED-Problematik) **nicht** ohne Weiteres auszuschließen sind [24].

Im Gegensatz dazu ist durch die abschnittsweise Auswertung über verschiedene Teilbereiche im Signalverlauf technisch eine **ausreichende Messsicherheit** hergestellt. Grundlegend ist bei der individuellen Abschätzung des Messwertes in Bezug auf die gefahrene Mindestgeschwindigkeit aus technischer Sicht dabei der geringste Einzelmesswert mit ausreichender Sicherheit auf das gemessene Fahrzeug zu übertragen.

In Ausnahmefällen kann auch von der Berücksichtigung einzelner Werte abgesehen werden, wenn Fehlereinflüsse auf diese erkannt werden können (z. B. LEDs) oder bei einem einzelnen Sensorpaar die Qualität (Beispiel Signal-Rausch-Verhältnis [25] schlecht) zu gering ist. Dann kann der Geschwindigkeitswert auch basierend auf den verbleibenden Werten bestimmt werden.

Letztendlich wird es bei entsprechenden Betrachtungen hinsichtlich der Richtigkeit eines Messwertes auch immer auf den jeweiligen Anwendungsbereich ankommen.

Zusammenfassend bleibt somit festzuhalten und zu unterscheiden, dass

- vom **Messgerät** lediglich über einen kurzen Datenabschnitt der Mittelwert gebildet und als Geschwindigkeitswert vorgeworfen wird und
- bei der **unabhängigen Auswertung der Rohmessdaten** eine abschnittsweise Auswertung über sämtliche Datenbereiche und somit eine Verifizierung der ermittelten Werte erfolgen kann; eine Mittelwertbetrachtung ist aufgrund der **ausreichenden Messsicherheit** somit nicht erforderlich.

Dies führt abschließend noch zur Frage, ob die sich im Rahmen der unabhängigen Auswertung ergebenden Abweichungen durch die Verkehrsfehlergrenze erfasst sind. **Dies ist aus technischer Sicht zu verneinen.**

In Bezug auf die anhand der Rohmessdaten nachweisbare Mindestgeschwindigkeit wird aus technischer Sicht im konkreten Einzelfall durch eine Sicherheitsbetrachtung bei der unabhängigen Auswertung eine sich aufgrund der Betrachtungsweise im Messgerät ggf. ergebende Abweichung korrigiert.

Aus technischer Sicht ist die Berücksichtigung der Verkehrsfehlergrenze den sich aufgrund der Messtechnik bzw. dem angewandten Messverfahren ergebenden und **niemals** auszuschließenden Ungenauigkeiten bzw. Abweichungen im Messbetrieb zuzuschreiben (vgl. auch Kapitel 4.1), **nicht** jedoch einer ggf. qualitativ minderwertigen Datenauswahl und rechnerischen Betrachtung im Messgerät. Durch die Verkehrsfehlergrenze können in diesem Zusammenhang und insbesondere bei der technischen Einzelfallbetrachtung nur minimale Abweichungen erfasst sein, die sich ggf. aufgrund der Grenzen der erreichbaren Auswertegenauigkeit ergeben.

5 Grundlagen und Methodenbeschreibung

5.1 Mathematische Grundlagen Korrelationsrechnung

Der mathematische Formalismus der Korrelationsrechnung liefert zwei Informationen: den **Zeitversatz** zwischen zwei hinein gegebenen Informationen (hier: Helligkeitsprofile) und deren **Grad an Übereinstimmung**.

Üblicherweise erfolgt die Berechnung eines Zeitversatzes und des Grades der Übereinstimmung zweier zeitabhängiger Signale durch die Bildung der so genannten **Kreuzkorrelationsfunktion** zwischen den beiden Signalen.

$$K_{1,2}(\tau) = c \cdot \int_{-\infty}^{\infty} S_1(t) \cdot S_2(t+\tau) dt$$

Diese Formel wird in der praktischen Umsetzung zu

$$K_{1,2}(\tau) = c \cdot \sum_{t=-T}^T S_1(t) \cdot S_2(t+\tau)$$

Dabei bezeichnet t die fortlaufende Zeit, τ die betrachtete Zeitverschiebung zwischen den Signalen und T die Aufzeichnungsdauer, aus der Messsignale vorliegen.

Damit die Kreuzkorrelationsfunktion den Grad der Übereinstimmung der beiden Signale als Funktion ihrer Verschiebung der beiden Signale angibt, muss sie auf ein bestimmtes Maß c bezogen werden, d. h., sie ist zu normieren. Es gilt hier

$$c = \frac{1}{\sqrt{\sum_{t=-T}^T S_1(t)^2 \cdot \sum_{t=-T}^T S_2(t)^2}}$$

Als Zeitversatz zwischen den Signalen ist dann diejenige Verschiebung zu nehmen, an der die Kreuzkorrelationsfunktion ihren Maximalwert annimmt.

Der Grad der Übereinstimmung zwischen den Signalen wird durch den **Korrelationskoeffizient** ausgedrückt. Dieser kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen, wobei 0 eine nicht vorhandene und 1 eine vollständige Übereinstimmung der Signale repräsentiert.

Bei der Berechnung der Kreuzkorrelationsfunktion ist theoretisch zumindest nicht auszuschließen, dass ein Zeitversatz für ein absolutes Maximum bestimmt wird, der nicht mit der zu bestimmenden tatsächlichen Geschwindigkeit des gemessenen Objektes übereinstimmt. Dies ist etwa dann der Fall, wenn das Gesamtsignal aus mehreren Anteilen besteht, die sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit fortbewegen.

Damit dem ermittelten Zeitversatz eine physikalisch sinnvolle Aussagekraft zugeordnet werden kann, ist daher ein **Mindestmaß an Übereinstimmung** (Korrelationskoeffizient) zwischen den Signalen zu fordern. Bei Korrelationskoeffizienten über 0,7 wird die Korrelation zwischen zwei Signalen in der Literatur als hoch und über 0,9 als sehr hoch bezeichnet [26].

Bei einer Geschwindigkeitsmessung ist prinzipiell davon auszugehen, dass von den einzelnen Sensoren jeweils identische bzw. sehr ähnliche Helligkeitsveränderungen registriert werden. Vor diesem Hintergrund sollte der Korrelationskoeffizient prinzipiell Werte von **mehr als 0,9** annehmen.

Darüber hinaus ist – wie in der vorherigen Kapiteln bereits hergeleitet – eine **abschnittsweise Auswertung** des Signalverlaufs zur Verifizierung der Geschwindigkeit an unterschiedlichen Stellen erforderlich. Nur so lässt sich technisch eine **ausreichende Messsicherheit** herstellen.

Weitere Ausführungen hierzu siehe auch [10].

5.2 Implementierung im eigenen Programm Medab und Auswertemöglichkeiten

5.2.1 Rechenweg und Implementierung

Die informationstechnische Umsetzung der Korrelationsrechnung erfolgte in der Programmiersprache Java.

Abbildung 9 zeigt die Summenformel zur praktischen Anwendung in Java-Quellcode.

Aus Gründen der Rechenzeitoptimierung wurde dabei die Korrelation im Zeitbereich durch Fast-Fourier-Transformation auf eine Multiplikation im Frequenzbereich abgebildet (vgl. der Befehl `fft.complexForward` vor der Anmerkung „FFT-Transformation“ in Abbildung 9).

Zunächst werden die beiden Kurven einer FastFourierTransformation (`fft.complexForward`) unterworfen.

Dann werden die resultierenden Kurven komplex multipliziert, wobei die komplex Konjugierte von Kurve 2 gebildet wird. Es wird also das Vorzeichen des Imaginärteils der komplexen Zahlen umgekehrt.

Anschließend findet eine Rücktransformation des berechneten Produktes in den Zeitbereich statt und es wird das Maximum gesucht.

Diese Funktion wird aus dem in Abbildung 10 abgebildeten Block heraus abgerufen, in dem zusätzlich noch die Ausgangswerte normiert werden.

```

private static InternalResult computeCrossCorrelation(double[] curve1, double[] curve2) {
    if (curve1.length != curve2.length)
        throw new IllegalArgumentException("curve1 and curve2 need to have the same length");

    // We first extend the two curves
    final int extendedCurveLength = (curve1.length * 2) - 1;

    final double[] c1 = new double[extendedCurveLength];
    final double[] c2 = new double[extendedCurveLength];

    for(int i = 0; i < curve1.length; i++) {
        c1[curve1.length - 1 + i] = curve1[i];
        c2[i] = curve2[i];
    }

    final double[] xcorr = new double[extendedCurveLength];

    // Start x-correlation
    {
        // Prepare arrays for fft
        double[] c1Complex = new double[extendedCurveLength * 2];
        double[] c2Complex = new double[extendedCurveLength * 2];

        // Prepare arrays for complex numbers
        for(int i = 0; i < extendedCurveLength; i++) {
            c1Complex[2*i] = c1[i];
            c2Complex[2*i] = c2[i];
        }

        final DoubleFFT_1D fft = new DoubleFFT_1D(extendedCurveLength);

        fft.complexForward(c1Complex);
        fft.complexForward(c2Complex);

        // Pairwise complex multiplication
        for(int i = 0; i < extendedCurveLength; i++) {
            final double x = c1Complex[2*i];
            final double y = c1Complex[(2*i)+1];
            final double u = c2Complex[2*i];
            final double v = c2Complex[(2*i)+1] * -1; // compute complex conjugate

            // compute complex multiplication
            c1Complex[2*i] = (x*u) - (y*v);
            c1Complex[(2*i)+1] = (x*v) + (y*u);
        }

        fft.complexInverse(c1Complex, true);

        for(int i = 0; i < extendedCurveLength; i++) {
            xcorr[i] = c1Complex[2*i];
        }
    }

    // Find maximum
    int shift = Integer.MIN_VALUE;
    double maximum = Double.NEGATIVE_INFINITY;

    for(int i = 0; i < extendedCurveLength; i++) {
        if(xcorr[i] > maximum) {
            shift = i - curve1.length + 1;
            maximum = xcorr[i];
        }
    }

    return new InternalResult(shift, maximum, xcorr);
}

```

FFT-Transformation

Aufsplitten der komplexen Zahlen in Real und Imaginärteil Multiplikation

Rücktransformation

Maximumsuche

Abbildung 9: Programmfragment zur Berechnung der Korrelation / Originalauszug aus Medab

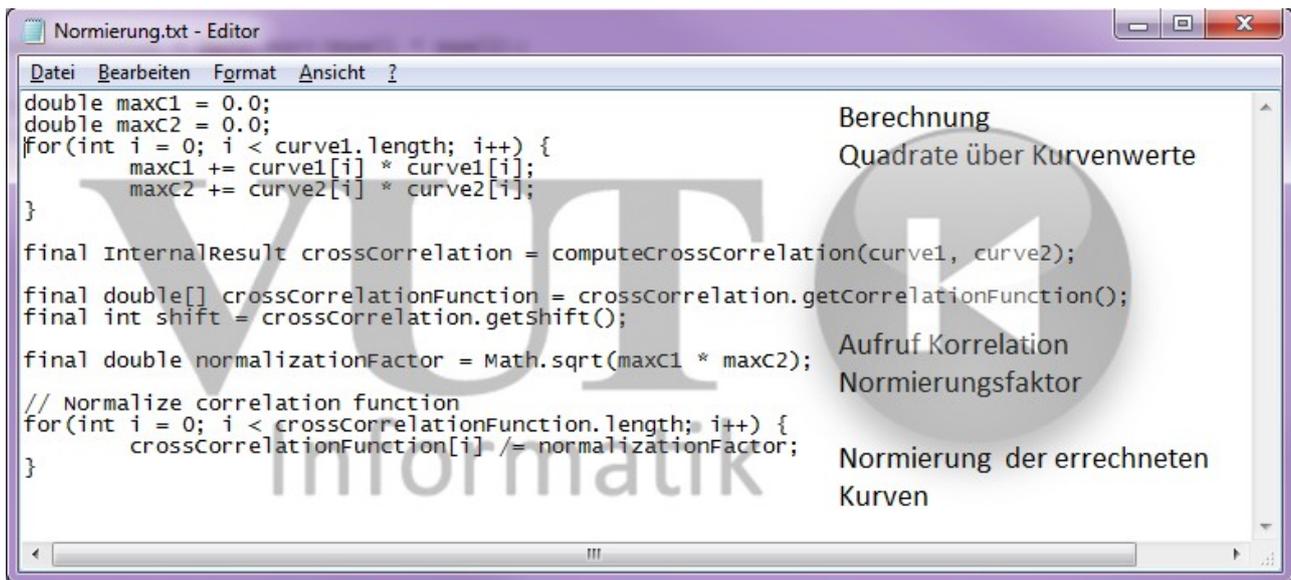


Abbildung 10: Programmfragment zur Berechnung der Normierung / Originalauszug aus Medab

Die genutzte Programmbibliothek zur Fourier-Transformation ist JTransforms von Piotr Wendykier.

Die Homepage zu dieser Funktionsbibliothek kann unter [27] gefunden werden.

5.2.2 Technische Auswertemöglichkeiten

Abschnittsweise Auswertung, zeitliche Vorverschiebung und Offsetkorrektur

Bei der abschnittswisen Auswertung können die Signale der Sensoren 2 bis 5 gegenüber dem Signal von Sensor 1 um einen jeweiligen Erwartungswert zeitlich verschoben werden. Der entsprechende Teilabschnitt wird anhand des Signals von Sensor 1 bestimmt und die übrigen Sensorsignale um den jeweiligen Erwartungswert zeitlich verschoben, so dass alle Sensorsignale bei einer grafischen Darstellung nahezu deckungsgleich verlaufen. Als Erwartungswert (Zeitversatz) wird der in der Messdatei enthaltene Wert „*ApproxTrigger*“ verwendet. Eine manuelle Vorgabe der zeitlichen Verschiebung für die einzelnen Sensorkanäle ist ebenfalls möglich.

Durch die zeitliche Vorverschiebung der Signale können deckungsgleich verlaufende Signalabschnitte in den einzelnen Sensorkanälen exakt erkannt und Störanteile bei der Auswertung ausgegrenzt werden.

Nach der Auswahl des Signalabschnitts und Vorgabe der zeitlichen Verschiebung werden die Signale durch Korrelationsrechnung ausgewertet.

Das Resultat der berechneten Kreuzkorrelationsfunktion entspricht dem noch verbleibenden Zeitversatz zwischen den jeweiligen Signalen, d. h., sofern die Vorgabe der zeitlichen Verschiebung zutreffend war, ist kein Zeitversatz mehr festzustellen. Wird bei der Berechnung hingegen noch ein Zeitversatz zwischen den Signalen ermittelt, wird der vorgegebene Erwartungswert um diesen Zeitversatz korrigiert.

Die bei der Berechnung der Kreuzkorrelationsfunktion ermittelten verbleibenden Zeitversätze zwischen den vorverschobenen Signalen fallen bei dieser Auswertung im Vergleich zum tatsächlichen Zeitversatz zwischen den Signalen deutlich geringer aus. Von daher kann die Signalauswertung hierbei auch über (im Vergleich zum tatsächlichen Zeitversatz) kürzere Abschnitte erfolgen.

Abhängig vom jeweiligen Signalverlauf und des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses ist zur technischen Bewertung der vorwerfbaren Geschwindigkeit ggf. zunächst die Korrektur eines anliegenden Offsets (entspricht einem von Null verschiedenen Grundwert des Sensors) erforderlich. Ohne eine solche Korrektur ist in Abhängigkeit des Signalverlaufs sowie des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses keine hinreichende Überprüfung des vorgegebenen Zeitversatzes durch die Kreuzkorrelationsfunktion möglich

Zur Korrektur eines anliegenden Offsets wird für die einzelnen Signale der Mittelwert über einen auswählbaren Abschnitt gebildet und die Signale anschließend um den jeweiligen Mittelwert korrigiert. Der Verlauf der Signale bleibt hierdurch unverändert, es wird lediglich der Signalpegel korrigiert.

Auf diese Art kann beispielsweise eine falsche Bestätigung der Vorverschiebung als endgültige Zeitverschiebung zwischen den Signalpaaren verhindert werden, die ansonsten bei schlechtem Signal-Rausch-Verhältnis auftreten kann.

5.3 Auswertekriterien

Zur Überprüfung der vorwerfbaren Geschwindigkeit wurden die Signale **abschnittsweise** (je nach Signalverlauf grob etwa „Front“, „Flanke“ und „Heck“ des Fahrzeuges) ausgewertet. Wie in den vorherigen Kapiteln dargelegt, ist durch die abschnittsweise Auswertung über verschiedene Teilbereiche im Signalverlauf technisch eine **ausreichende Messsicherheit** hergestellt (vgl. auch 4.2.2).

Bei der beschriebenen Auswertemethodik werden je nach Signalverlauf insgesamt **6** (Auswertung über Front und Heck) bzw. **9** (Auswertung über Front, Flanke und Heck) **Einzelmesswerte** ermittelt.

Grundlegend ist bei der individuellen Abschätzung des Messwertes in Bezug auf die gefahrene **Mindestgeschwindigkeit** aus technischer Sicht dabei der **geringste Einzelmesswert** mit ausreichender Sicherheit auf das gemessene Fahrzeug zu übertragen. Bei Messungen mit entsprechenden Resultaten wird der Messwert dementsprechend als abweichend bewertet.

Ist eine **ausreichende Verifizierung** der ermittelten Werte aufgrund des Signalverlaufs über **drei Teilbereiche** (9 Einzelmesswerte) möglich und der vom Messgerät ausgegebene Geschwindigkeitswert im Hinblick auf die Häufigkeit und Verteilung der Einzelmesswerte nachvollziehbar, wird ein ggf. vorhandener, geringerer Einzelmesswert bei der Bewertung der jeweiligen Messung **nicht** berücksichtigt und der Messwert als korrekt bewertet. Gleichermaßen kann dies jedoch auch bei **individueller Prüfung und sachverständiger Bewertung** des Signalverlaufs über lediglich **zwei vorhandene Teilbereiche** (6 Einzelmesswerte) gelten.

Messungen, bei denen eine **abschnittsweise Auswertung und Verifizierung der Geschwindigkeit** an **mindestens zwei** unterschiedlichen Stellen im Signalverlauf **nicht möglich** ist, werden als **nicht verwertbar** deklariert. Gleiches gilt für solche Signale, bei denen eine abschnittsweise Auswertung aufgrund evtl. vorhandener LED-Einflüsse nicht oder nicht hinreichend möglich ist.

Die Bewertung der Messungen erfolgte in folgenden Kategorien:

- **Messwert korrekt:** der vom Messgerät ermittelte Geschwindigkeitswert ist zu bestätigen. Die Kategorie beinhaltet auch Messungen mit geringeren Einzelmesswerten; der angezeigte Messwert ist jedoch im Ergebnis der individuellen Bewertung nachvollziehbar/plausibel.
- **Messwert abweichend (geringere Geschwindigkeit):** bei der Auswertung ergeben sich geringere Geschwindigkeitswerte als der angezeigte Messwert. Die Abweichung tritt in einzelnen oder mehreren Sensorkanälen und/oder Abschnitten auf. Die Kategorie beinhaltet sowohl Messungen mit schwankenden Werten als auch solche, bei denen der angezeigte Messwert technisch nicht nachvollziehbar ist.

- **Messwert abweichend (höhere Geschwindigkeit):** bei der Auswertung ist der angezeigte Messwert nicht nachvollziehbar. Der vom Messgerät ermittelte Wert ergibt sich auch nicht als Einzelmesswert, sondern es ergeben sich durchweg höhere Geschwindigkeitswerte.
- **Nicht verwertbar:** eine Verifizierung der Geschwindigkeit an mindestens zwei Stellen im Signalverlauf ist aufgrund verschiedener Einflussmöglichkeiten (z. B. Einflüsse durch LED-Leuchten, Front-/Heckmessungen, Verdeckung durch ein weiteres Fahrzeug o. ä.) nicht möglich, so dass sich eine ausreichende Messsicherheit nicht herstellen lässt.

6 Fallstudie

6.1 Messgerät

Das Messgerät, das für die vorliegende Messreihe verwendet wurde, hat die Gerätenummer 5453. Es ist dauerhaft in einem Außengehäuse in Höhe Ramstein am Rand der BAB 6 von Mannheim in Richtung Saarbrücken aufgestellt.

6.2 Daten zur Messreihe

Anhand der Statistikdatei ergeben sich folgende Daten zum Messeinsatz sowie den insgesamt gemessenen Geschwindigkeiten (Verteilung siehe Histogramm):

Gerätenummer:	5453
Messzeitraum:	30.12.2020 15:44 Uhr bis 04.01.2021 16:03 Uhr
Zulässige Höchstgeschwindigkeit:	80 km/h
Eingestellter Grenzwert:	89 km/h
Anzahl Durchfahrten (in Messrichtung):	57292
Festgestellte Überschreitungen:	1546
Annullierte Messungen:	369 (19 %)
V ₈₅ :	78 km/h

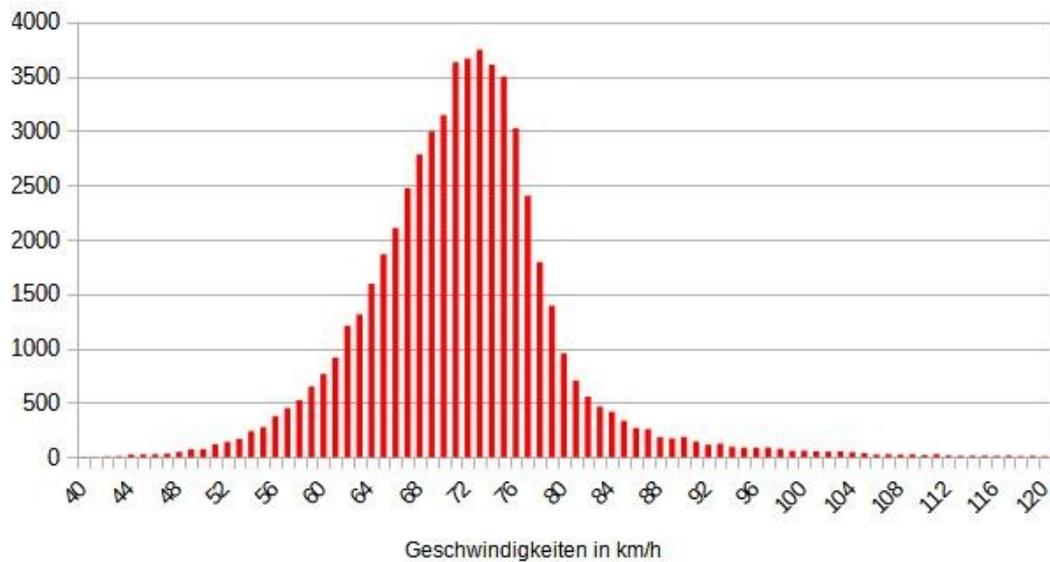


Abbildung 11: Histogramm der Geschwindigkeiten über den Messeinsatz aus der Statistikdatei; dargestellter Bereich 40 km/h bis 120 km/h

6.3 Ergebnis der Auswertung

6.3.1 Gesamt

Nach Ansatz der oben definierten Bewertungskategorien ergibt sich für die 1546 ausgewerteten Falldateien:

Kategorie	Anzahl
Messwert korrekt	1052
Messwert abweichend (geringere Geschwindigkeit)	330
Messwert abweichend (höhere Geschwindigkeit)	21
Nicht verwertbar	141
Abweichung außerhalb Verkehrsfehlergrenze	2

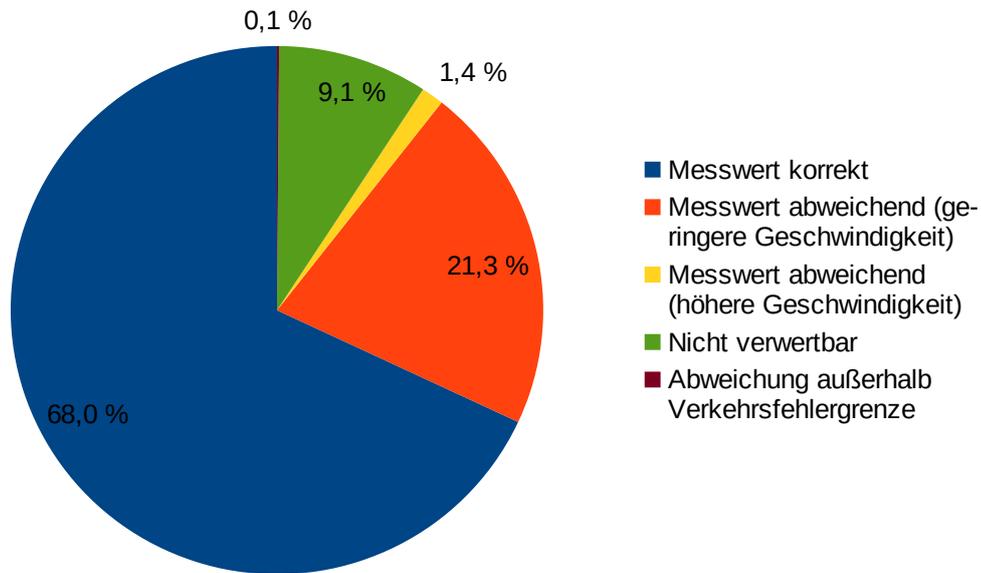


Abbildung 12: prozentuale Verteilung

6.3.2 Verteilung der abweichenden Messwerte – Kategorie „geringere Geschwindigkeit“

Größenordnung der Abweichung	Anzahl
Bis 1 km/h	316
Bis 2 km/h	13
Bis 3 km/h	1

Im Anhang ist beispielhaft die Auswertung von zwei Fallbeispielen (siehe A1 bis A2) dokumentiert.

Kurzbeschreibung Fallbeispiel 1 (vgl. Abbildungen 19 bis 23):

- Vom Messgerät wurde eine Geschwindigkeit von 105 km/h ermittelt.
- Es sind insgesamt drei Teilbereiche in der Signalaufzeichnung enthalten.
- Im Bereich der Front ist teilweise eine Beeinflussung durch LEDs in der Signalaufzeichnung festzustellen. Hinweis: Die Falldatei wird vom *ed3-viewer* geöffnet (s. 6.3.6).
- Die unabhängige Auswertung ergibt über die einzelnen Teilbereiche eine Geschwindigkeit von 104 km/h. Der ausgegebene Messwert ergibt sich lediglich als Einzelwert an der Front.

Kurzbeschreibung Fallbeispiel 2 (vgl. Abbildungen 25 bis 30):

- Vom Messgerät wurde eine Geschwindigkeit von 109 km/h ermittelt.
- Es sind insgesamt vier Teilbereiche in der Signalaufzeichnung enthalten.
- Die unabhängige Auswertung ergibt über die einzelnen Teilbereiche jeweils Einzelmesswerte von 108 km/h.

6.3.3 Verteilung der abweichenden Messwerte – Kategorie „höhere Geschwindigkeit“

Größenordnung der Abweichung	Anzahl
mindestens 1 km/h	20
mindestens 2 km/h	1

Auch hierzu ist im Anhang ein entsprechendes Fallbeispiel (siehe A3) enthalten.

Kurzbeschreibung des Fallbeispiels (vgl. Abbildungen 31 bis 35):

- Vom Messgerät wurde eine Geschwindigkeit von 94 km/h ermittelt.
- Es sind zwei Teilbereiche in der Signalaufzeichnung enthalten.
- Im Bereich der Front ist am Beginn offenbar ein leichter Einfluss durch LEDs in der Signalaufzeichnung vorhanden. Hinweis: Die Falldatei wird vom *ed3-viewer* geöffnet (s. 6.3.6).
- Die unabhängige Auswertung ergibt über die beiden Teilbereiche jeweils Einzelmesswerte von 96 km/h.

6.3.4 Nicht verwertbare Messungen

Grund der Nichtverwertbarkeit	Anzahl
Front-/Heckmessung	70
LED-Einfluss	62
Sonstiges (z. B. Verdeckung)	9

6.3.5 Fehlmessungen mit Abweichungen außerhalb der Verkehrsfehlergrenze

Bei **zwei** Falldateien wurde aufgrund der Beeinflussung der LED-Leuchten des Fahrzeuges eine jeweilige Fehlmessung mit Abweichungen außerhalb der zulässigen Verkehrsfehlergrenzen festgestellt.

Falldatei	Werte laut Messgerät (Geschwindigkeit / Abstand)	Tatsächliche Werte (Geschwindigkeit / Abstand)	Abweichung
ESOWin_005453_00561802_20 20.12.30_21.49.56.7.eso	90 km/h / 8,9 m	93 km/h / 7,2 m	+ 3 km/h / - 1,7 m
ESOWin_005453_00561802_20 21.01.03_07.27.10.4.eso	89 km/h / 6,0 m	82 bis 83 km/h / 10,4 m	- 6 bis 7 km/h / + 4,4 m

Bei Falldatei ESOWin_005453_00561802_2021.01.03_07.27.10.4.eso handelt es sich um die veröffentlichte Fehlmessung aus [25], siehe hierzu auch Kapitel 3.1.2.

Die Auswertung der Falldatei ESOWin_005453_00561802_2020.12.30_21.49.56.7.eso wird im Folgenden dokumentiert.

Die Abbildungen 15 bis 18 zeigen den entsprechenden Signalverlauf (Fahrzeugdurchfahrt) sowie die abschnittsweise Auswertung von „Front“, „Heck“ und LED-Peak. Die typischen LED-Peaks im Signalverlauf sind bei der abschnittswisen Auswertung über die Front rein optisch bereits eindeutig erkennbar und wurden zusätzlich markiert.

Sowohl über die gesamte Durchfahrt als auch bei der abschnittswisen Auswertung von Front und Heck ergeben sich jeweils Geschwindigkeitswerte von 93 km/h und Abstandswerte von rd. 7,2 m. Bei der abschnittswisen Auswertung der beiden Datenbereiche errechnen sich Geschwindigkeitswerte von 93,36 km/h bis 93,75 km/h bei Korrelationskoeffizienten von 0,97 bis 0,99.

Im Vergleich zur ausschließlichen Auswertung des LED-Peaks am Beginn lassen sich hier somit eindeutig eine um **3 km/h höhere Geschwindigkeit** sowie ein um ca. **1,7 m falscher Abstandswert** belegen.

Oder vereinfacht ausgedrückt: Die selektierte Datenauswertung im Messgerät über lediglich „*einen Peak*“ führt auch hier nachweislich zu **falschen Messwerten außerhalb der zulässigen Verkehrsfehlergrenzen**.

Die Breite der einzelnen Peaks im Bereich der Front (vgl. Abbildung 17) lässt sich mit weniger als 50 Punkten (0,5 ms) eingrenzen. Dies entspricht einer Abtastlänge von lediglich ca. 1 cm.

Hinweis: Die entsprechende Falldatei wird im Übrigen vom *ed3-viewer* – wie auch die Falldatei ESOWin_005453_00561802_2021.01.03_07.27.10.4.eso – **kommentarlos unterdrückt** (siehe Abbildung 14).

Abbildung 14 zeigt beispielhaft die geöffnete Falldatei des Fallbeispiels 1 im Anhang A1. Die eigentlich ausgewählte und vom *ed3viewer* unterdrückte Falldatei mit der Bezeichnung

ESOWin_005453_00561802_2020.12.30_21.49.56.7.eso ist nur anhand des Pfades (siehe Markierung) erkennbar.

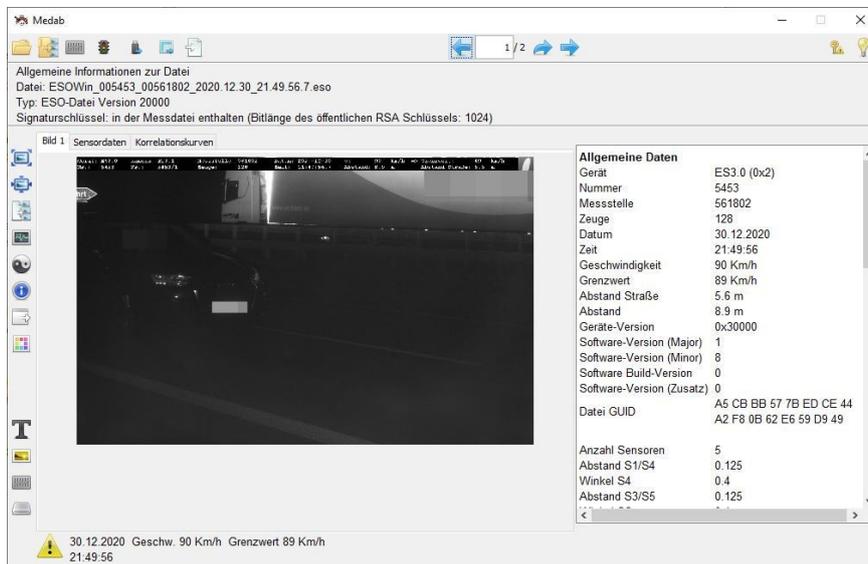


Abbildung 13: geöffnete Falldatei im eigenen Auswerteprogramm Medab

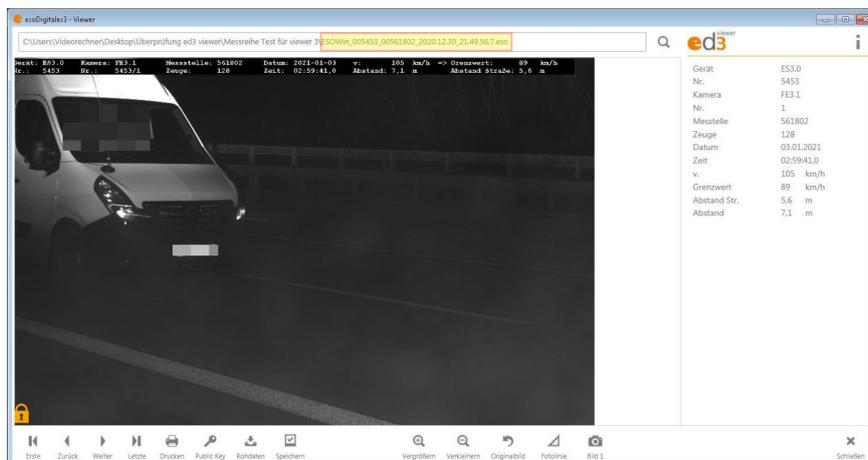


Abbildung 14: Foto und Daten der zuvor geöffneten Falldatei ESOWin_005453_00561802_2021.01.03_02.59.41.0.eso werden angezeigt; die eigentlich ausgewählte und unterdrückte Falldatei ESOWin_005453_00561802_2020.12.30_21.49.56.7.eso ist nur anhand des Pfades (siehe Markierung) erkennbar

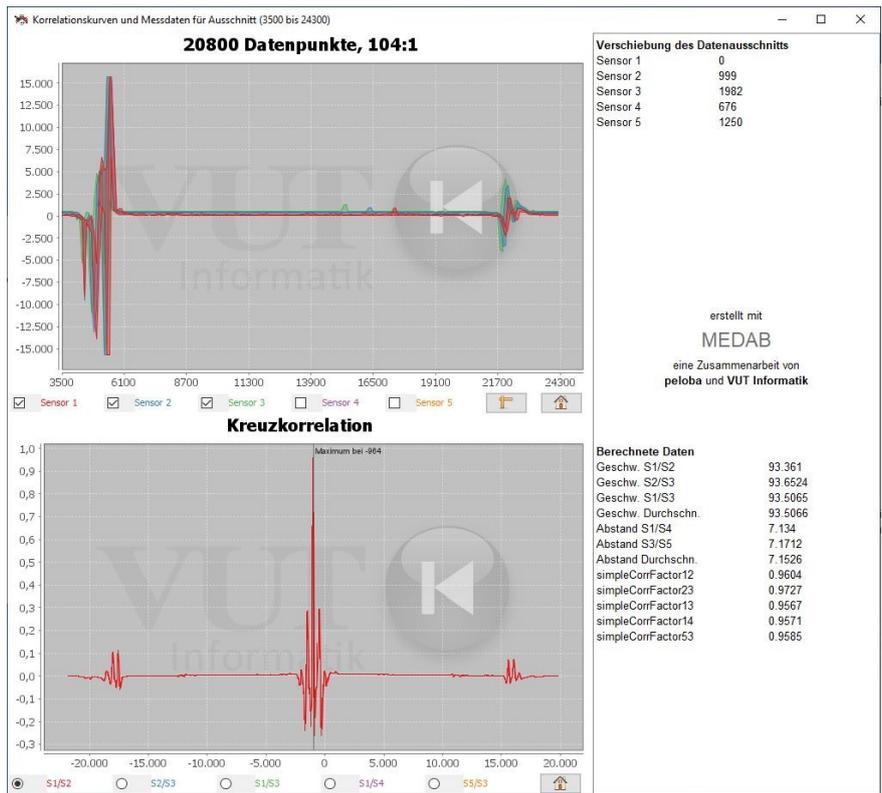


Abbildung 15: Durchfahrt des Fahrzeuges

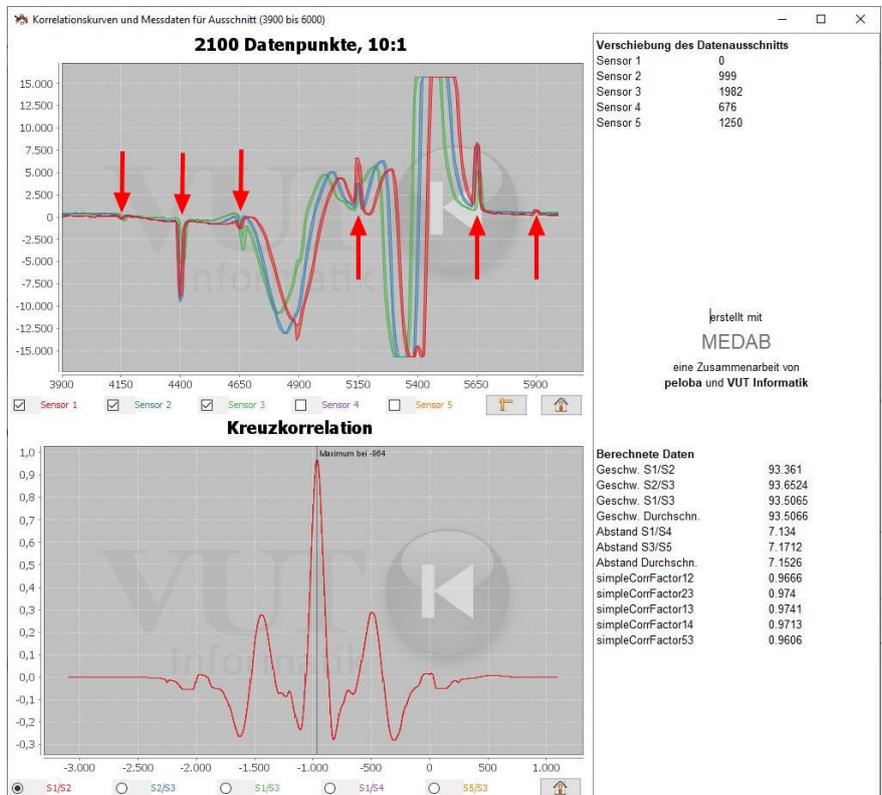


Abbildung 16: abschnittsweise Auswertung an der „Front“

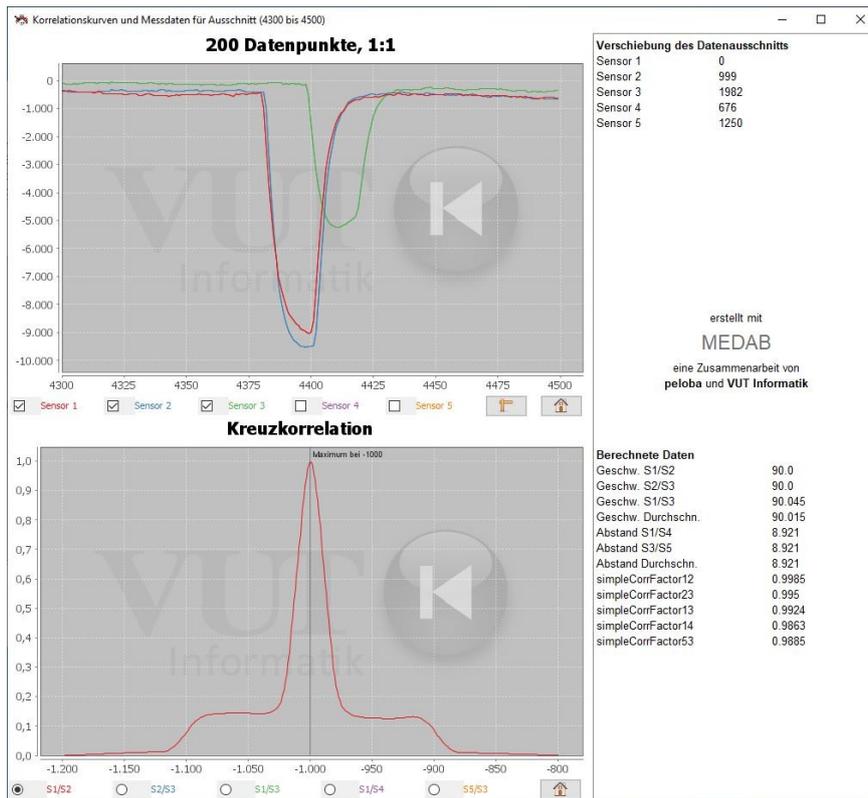


Abbildung 17: Auswertung LED-Peak

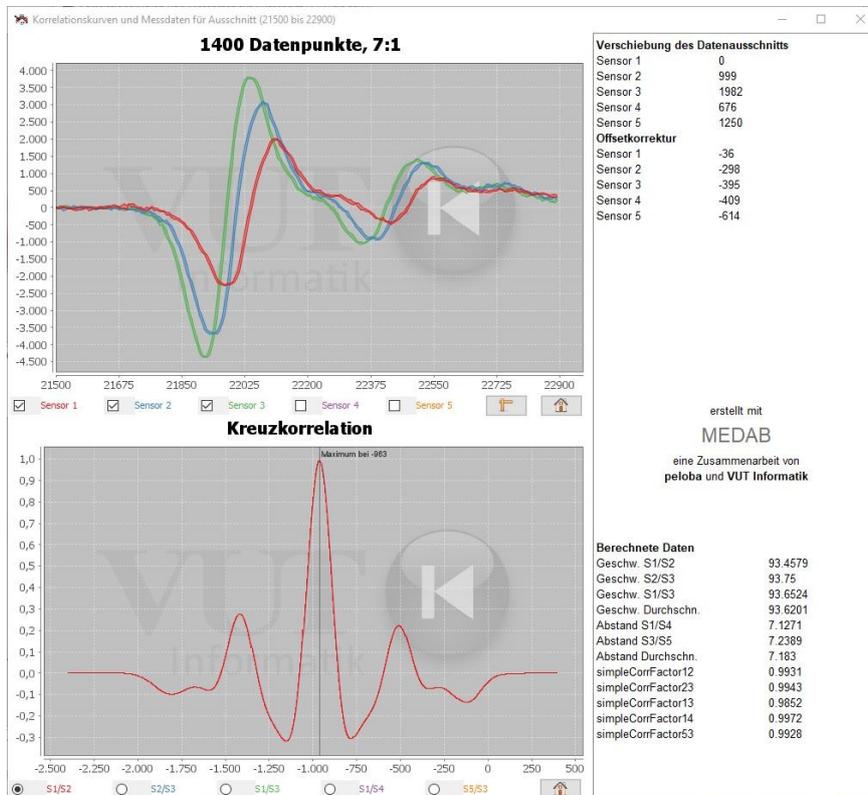


Abbildung 18: abschnittsweise Auswertung am „Heck“ (Offset korrigiert)

6.3.6 Überprüfung zur Unterdrückung von Falldateien durch den „ed3-viewer“

Im Hinblick auf unsere Untersuchungen zum *ed3-viewer* (siehe [21] sowie auch Ausführungen Kapitel 3.1.2) wurden einzelne Falldateien innerhalb der Messreihe mit dem viewer überprüft.

Die bisherige Überprüfung hat gezeigt, dass mindestens **15 Falldateien (1 %)** innerhalb der Messreihe vom *ed3-viewer* **nachträglich durch erneute Auswertung der Rohmessdaten offenbar als nicht verwertbar deklariert** und – wie im vorherigen Kapitel ebenfalls beschrieben – **kommentarlos unterdrückt** werden.

Weiterhin zeigt sich, wie auch in [21] bereits beschrieben, dass vom viewer auch weiterhin Falldateien mit LED-Einfluss in der Signalaufzeichnung geöffnet werden, d. h. eine technisch zuverlässige Erkennung ist nicht erkennbar.

6.4 Diskussion

6.4.1 Interpretation

Die Auswertung der vorliegenden Messreihe hat bei zwei Messungen gezeigt, dass aufgrund der Auswertung im Messgerät und einer Beeinflussung durch LED-Leuchten Fehlmessungen mit Abweichungen außerhalb der Verkehrsfehlergrenze produziert wurden.

Weiterhin ist bei 141 Messungen festzustellen, dass die hergeleiteten Bedingungen zur Herstellung einer ausreichenden Messsicherheit, also die Verifizierung der Messwerte über mindestens zwei Teilabschnitte, aufgrund der Signalaufzeichnung nicht gegeben sind. Auch hier zeigt sich neben den allgemein bekannten Front- bzw. Heckmessungen vor allem eine zunehmende Beeinflussung durch die LED-Leuchten der Fahrzeuge (ca. 44 % der nicht verwertbaren Messungen).

Zur Möglichkeit von Beeinflussungen durch LED-Leuchten bei der Signalaufzeichnung und/oder Messwertbildung zeigt die Auswertung der vorliegenden Messreihe aus technischer Sicht insgesamt, dass dies in Zukunft eine zunehmende Herausforderung für die geräteinterne Auswertung sein wird, auch im Hinblick auf die unterschiedlichen Designs und Ausprägungen der Leuchten.

Bezogen auf die abweichenden Messwerte bleibt zunächst festzuhalten, dass sich bei 21 Messungen eine höhere Geschwindigkeit ergibt. Diese Fälle mögen für die juristische Betrachtung zwar kaum relevant sein; aus technischer Sicht dokumentieren diese jedoch allesamt ganz klar eine fehlerhafte Auswertung, da der Messwert nicht einmal als Einzelwert auftritt.

Die Auswertung der jeweils technisch vorwerfbaren Mindestgeschwindigkeit ergibt unter den beschriebenen Kriterien bei insgesamt 330 Messungen ein geringeres Ergebnis. Etwa 96 % der Werte liegen dabei in einem Bereich von 1 km/h. Vereinzelt wurden auch höhere Abweichungen festgestellt.

Dies verdeutlicht aus technischer Sicht, dass

- **entsprechende Fragestellungen zur „Richtigkeit“ eines vorgeworfenen Geschwindigkeitswertes nur durch die Auswertung der Rohmessdaten technisch fundiert und sachgemäß beantwortet werden können und**
- **sich eventuelle Diskussionen um die „Richtigkeit“ bei „normalen“ Messsignalen jedoch vor allem auf die Fälle beschränken werden, die jeweils im etwaigen Grenzbe- reich zur einer geringeren Bußgeldkategorie liegen.**

Nicht zuletzt zeigt auch die Tatsache, dass vom *ed3-viewer* durch erneute Auswertung der Rohmessdaten nun mindestens 1 % ursprünglich gültiger Messungen innerhalb der Messreihe offenbar als nicht verwertbar deklariert werden, wie wichtig die vollständigen und unselektierten Rohmessdaten für eine unabhängige Überprüfung sind.

Auch hier bestätigt die Auswertung der vorliegenden Messreihe erneut unsere bereits beschriebenen Erkenntnisse zum *ed3-viewer*, wonach eine technisch zuverlässige Erkennung des beschriebenen LED-Effekts in der Signalaufzeichnung nicht erkennbar ist.

6.4.2 Limitationen

Im Folgenden werden verschiedene Einschränkungsfaktoren bezüglich der durchgeführten Studie aufgeführt:

1. Auswertung einer Messreihe von einem Messgerät an einer Messstelle
2. individuelle Bewertung der Signalverläufe durch 4 Sachverständige
3. unbekannte Verarbeitungsschritte der aufgezeichneten Rohmessdaten im Messgerät

Zu 1. Da es sich um ein Messgerät mit passiven optischen Sensoren handelt, sind weitere Messreihenauswertungen in der vorliegenden Art und Weise erforderlich. Es müssen weitere Messreihen ausgewertet werden, um genauer feststellen zu können, wie sich die **Geometrie** der Mess-

stelle sich auf die Messwertbildung auswirkt. Sollten die Flächen, auf die Lichtreflexe oder Schatten fallen können, uneben oder nicht parallel zur Fahrtrichtung des Fahrzeugs sein, so ergeben sich zwangsläufig wieder Abweichungen. Das Gleiche gilt für die Ausrichtung des Messgeräts und den optischen Hintergrund.

Zu 2. Die individuelle sachverständige Bewertung wurde durch die festgelegten Auswertekriterien, die unter Punkt 5.3 beschrieben wurden, weitestgehend vereinheitlicht.

Zu 3. Die Datenmenge des „einen Peaks“, der dem Hersteller genügt, ist unbekannt. Die Auswertung in dieser Ausarbeitung war dagegen darauf ausgelegt, so viel Signal wie möglich in die Betrachtung mit einzubeziehen, um die Teilergebnisse miteinander zu verifizieren. Hier kommt es also zwangsläufig zu Abweichungen.

7 Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Zusammenfassung

Diese Ausarbeitung verdeutlicht, dass eine technisch und wissenschaftlich fundierte Überprüfung bei vorhandenen Zweifeln am vorgeworfenen Messwert NUR in Verbindung mit der Auswertung der vollständigen, unselektierten Rohmessdaten möglich ist.

Es wurde gezeigt, dass es bei der unabhängigen Auswertung der Rohmessdaten **nicht** darum geht, die Geschwindigkeit anhand der vom Messgerät **selektierten Daten** „nachzuberechnen“, sondern anhand der **vollständigen, unselektierten Daten** die korrekte Messwertbildung **unabhängig** zu bestätigen oder Fehler/Abweichungen aufzuzeigen. Es gilt im **Einzelfall** zu prüfen, ob die **Datenselektion** des Herstellers zur Berechnung der Geschwindigkeit **korrekt bzw. geeignet** war und natürlich auch, ob aus den selektierten Daten dann letzten Endes der korrekte Wert errechnet wurde.

Die Auswertung der vorliegenden Messreihe mit insgesamt 1546 Messungen hat bei zwei Messungen ergeben, dass aufgrund der geräteinternen Auswertung und einer jeweiligen Beeinflussung durch LED-Leuchten Fehlmessungen mit Abweichungen außerhalb der Verkehrsfehlergrenze entstanden sind.

Es wurde ferner festgestellt, dass bei ca. 9 % der Messungen die hergeleiteten Bedingungen zur Herstellung einer ausreichenden Messsicherheit nicht gegeben sind und sich bei ca. 21 % der Messungen eine geringere Geschwindigkeit als der ausgegebene Messwert ergibt.

Es bleibt daher im Ergebnis dieser Untersuchung ganz klar und unwiderlegbar festzuhalten:

Fehlmessungen und in der Höhe fehlerhafte Messwerte sind Realität und dies kann anhand der Rohmessdaten unabhängig überprüft und festgestellt werden!

Durch die Abspeicherung der vollständigen und unselektierten Rohmessdaten können daher – und dies unabhängig vom betrachteten Messgerät – eventuelle Fehlmessungen oder abweichende Ergebnisse aufgrund der betrachteten Datenmenge klar festgestellt und dem Gericht zur Entscheidung dargelegt werden.

7.2 Ausblick

Im Zeitalter der digitalen Messtechnik mit der Erzeugung entsprechender Falldatensätze ist es aus technischer Sicht prinzipiell problemlos möglich, die bei einer Messung vollständig aufgezeichneten Rohmessdaten abzuspeichern und somit für eine nachträgliche und unabhängige Überprüfung zur Verfügung zu stellen.

Nur die vollständigen und unselektierten Rohmessdaten können die erforderliche Klarheit bei der technischen Bewertung und Einzelfallprüfung liefern und ermöglichen eine fundierte Beantwortung der regelmäßig wiederkehrenden Fragestellungen von Verteidigung und Gericht.

Es sei in diesem Zusammenhang auch ganz klar darauf hingewiesen, dass eine oftmals befürchtete „Überlastung“ der Gerichte hierbei explizit nicht zu erwarten ist. Die Erfahrung bei der täglichen Arbeit zeigt, dass – sofern anhand der Rohmessdaten die korrekte Messwertbildung nachvollziehbar ist oder aber die unabhängige Auswertung den vorgeworfene Messwert zumindest in der beanzeigten Größenordnung bestätigt – keine weitere Thematisierung der technischen Fragen bei Gericht erfolgt.

Aus technischer Sicht kann daher nur gefordert werden, dass die Abspeicherung der vollständigen und unselektierten Rohmessdaten endlich vorgeschrieben wird. Hierdurch würde

letztlich für alle Beteiligten ein überprüfbares und somit auch transparentes, nachvollziehbares Verfahren geschaffen.

Dies würde im Übrigen auch den jeweiligen Geräteherstellern die Möglichkeit zur Qualitätssicherung und Verfahrensoptimierung bieten. Eventuelle Effekte, die zu einer fehlerhaften Messwertbildung führen können (siehe etwa hier oder auch Leivtec [28, 29]), können anhand der Rohmessdaten identifiziert und ggf. durch eine Änderung oder Optimierung der Auswerteweise behoben bzw. berücksichtigt werden, so dass auch das „vom Markt nehmen“ eines Messgeräts bei Auftreten von nachweisbaren Messfehlern aus technischer Sicht nicht die einzige Option sein muss.

Anhang

A1: Auswertung Fallbeispiel 1 – Kategorie „geringere Geschwindigkeit“

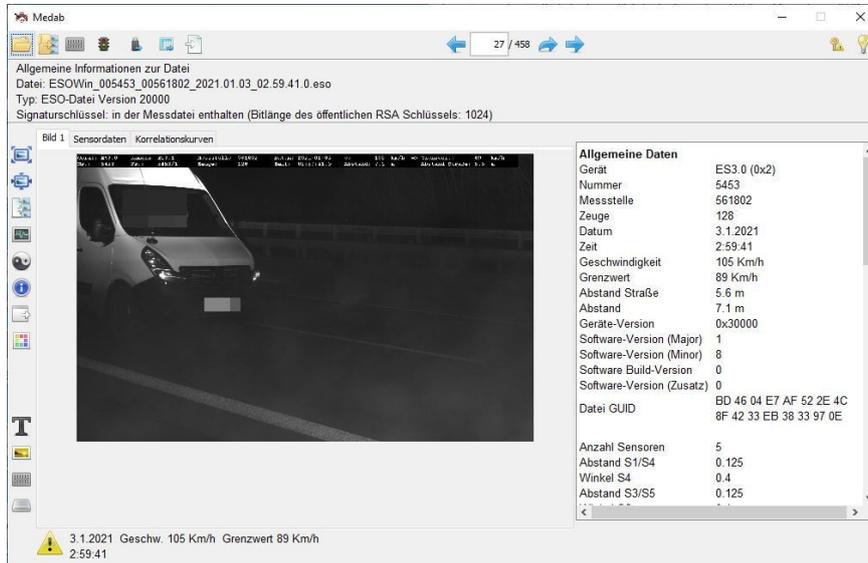


Abbildung 19: geöffnete Falldatei im eigenen Auswerteprogramm Medab

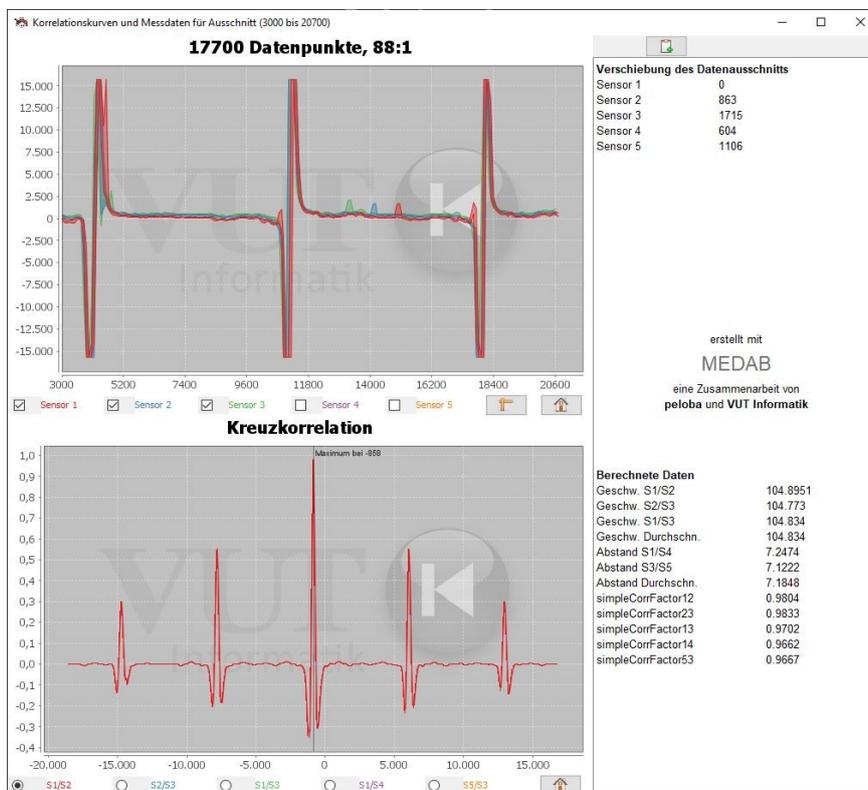


Abbildung 20: Durchfahrt des Fahrzeuges mit insgesamt drei Teilbereichen

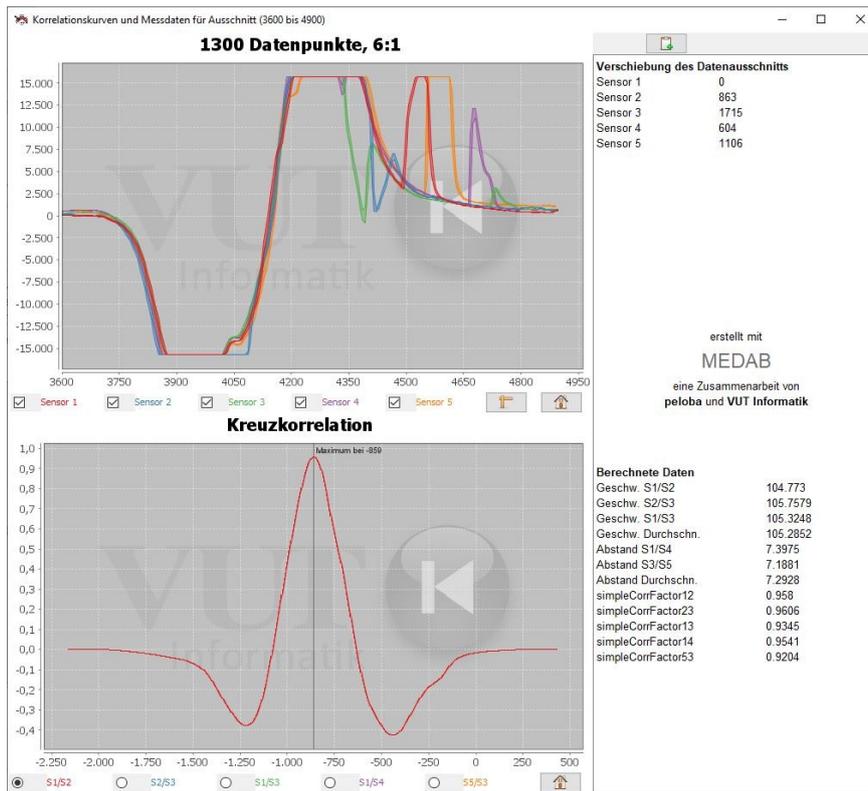


Abbildung 21: Auswertung erster Teilbereich

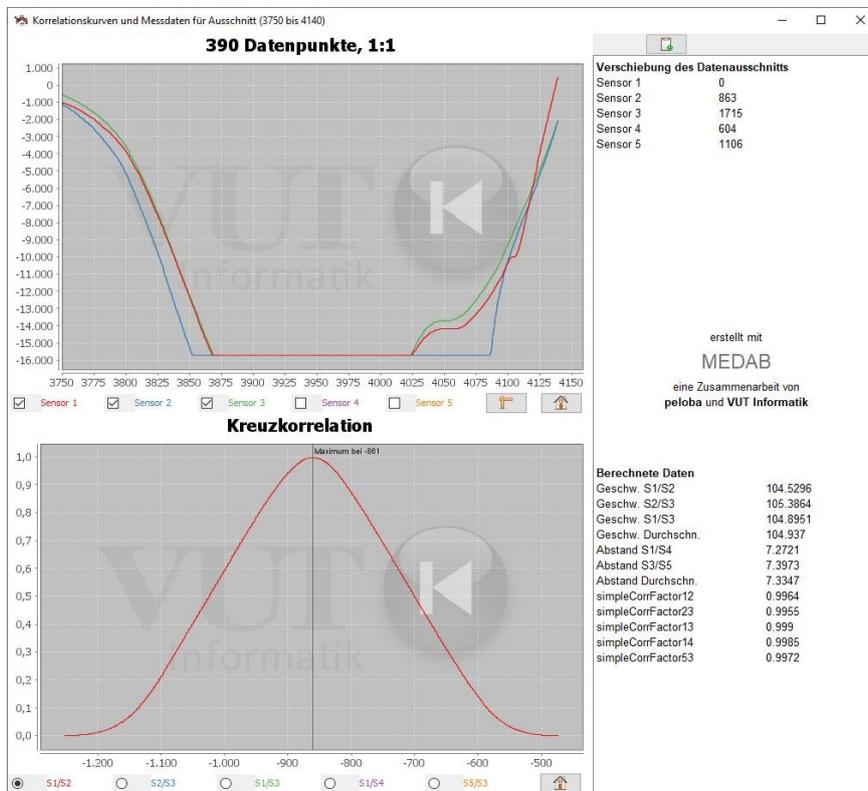


Abbildung 22: Auswertung vorderer Abschnitt aus Abb. 21

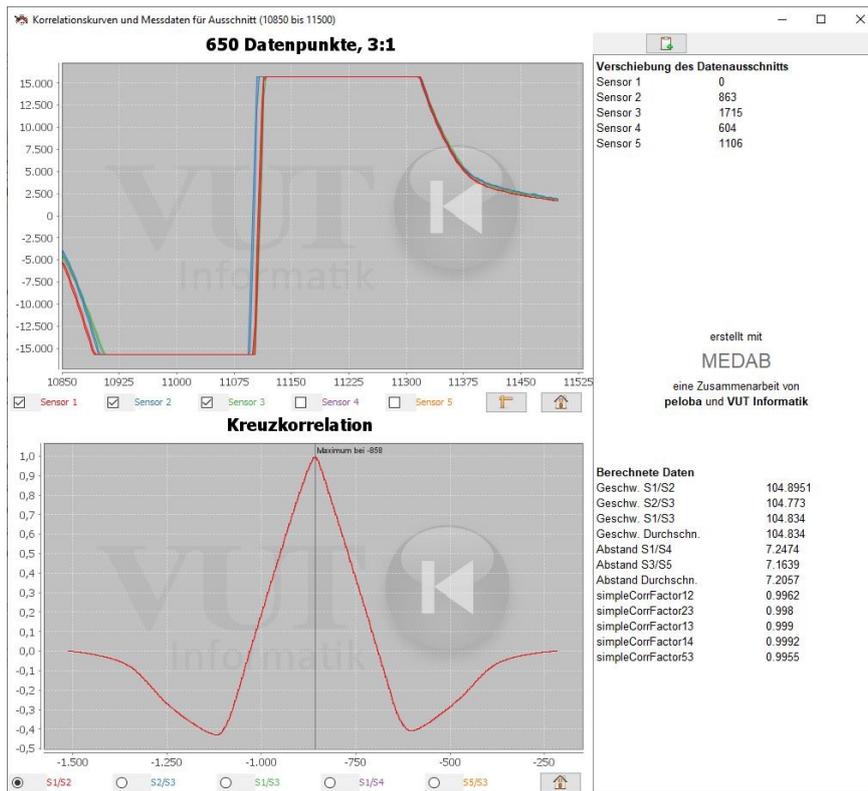


Abbildung 23: Auswertung zweiter Teilbereich

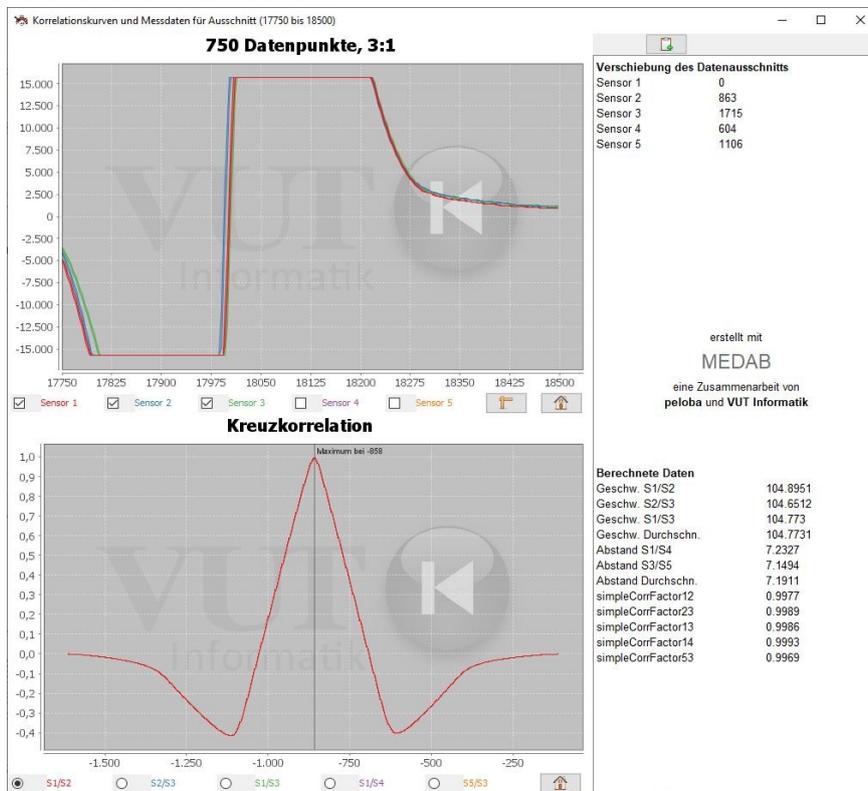


Abbildung 24: Auswertung dritter Teilbereich

A2: Auswertung Fallbeispiel 2 – Kategorie „geringere Geschwindigkeit“

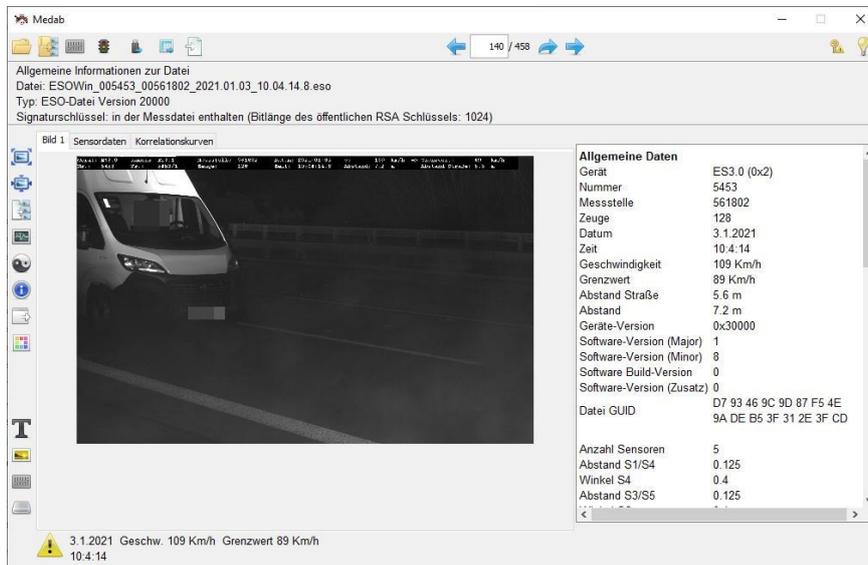


Abbildung 25: geöffnete Falldatei im eigenen Auswerteprogramm Medab

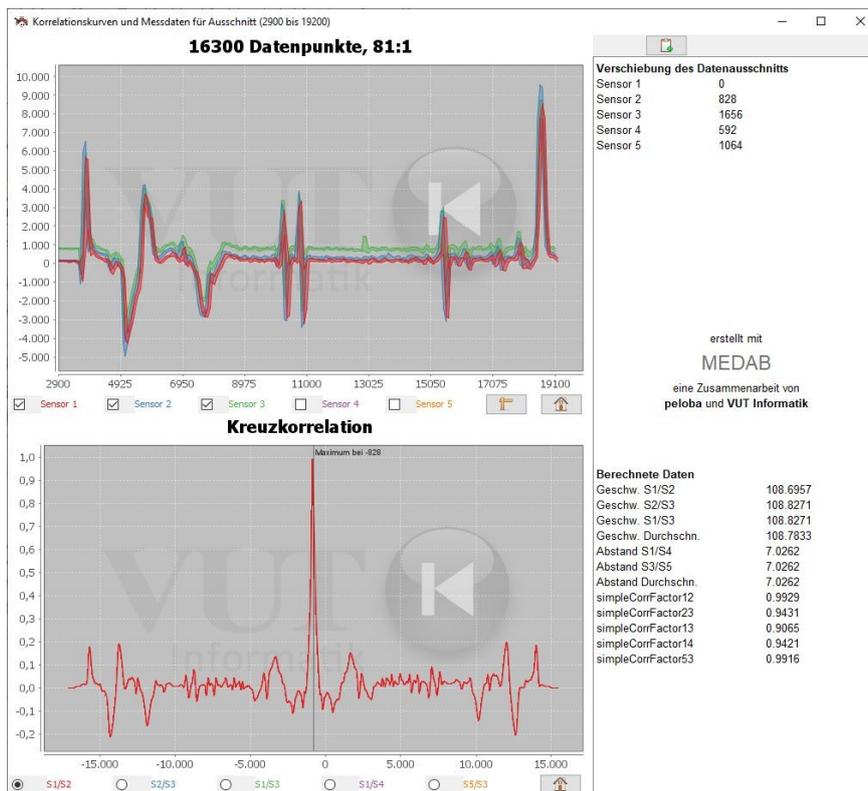


Abbildung 26: Durchfahrt des Fahrzeuges mit insgesamt vier Teilbereichen

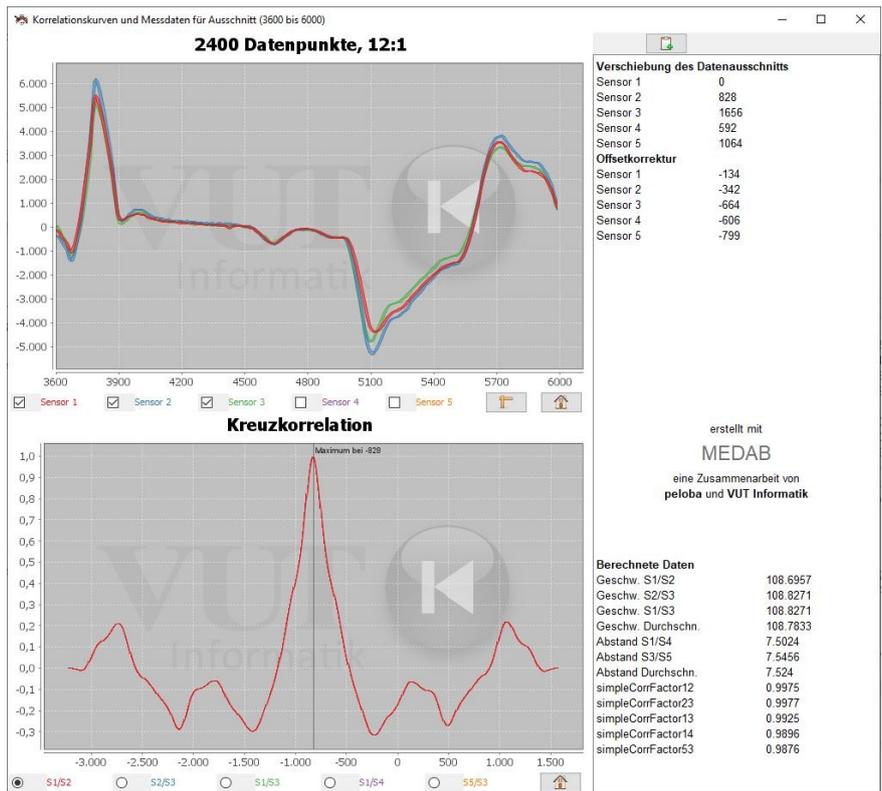


Abbildung 27: Auswertung erster Teilbereich (Offset korrigiert)

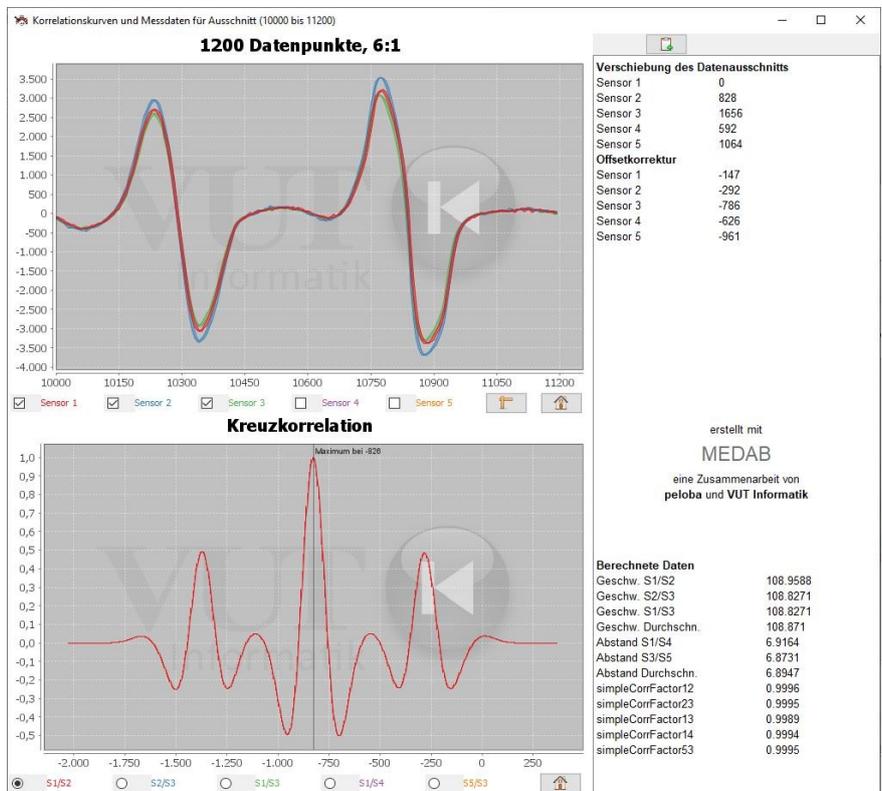


Abbildung 28: Auswertung zweiter Teilbereich (Offset korrigiert)

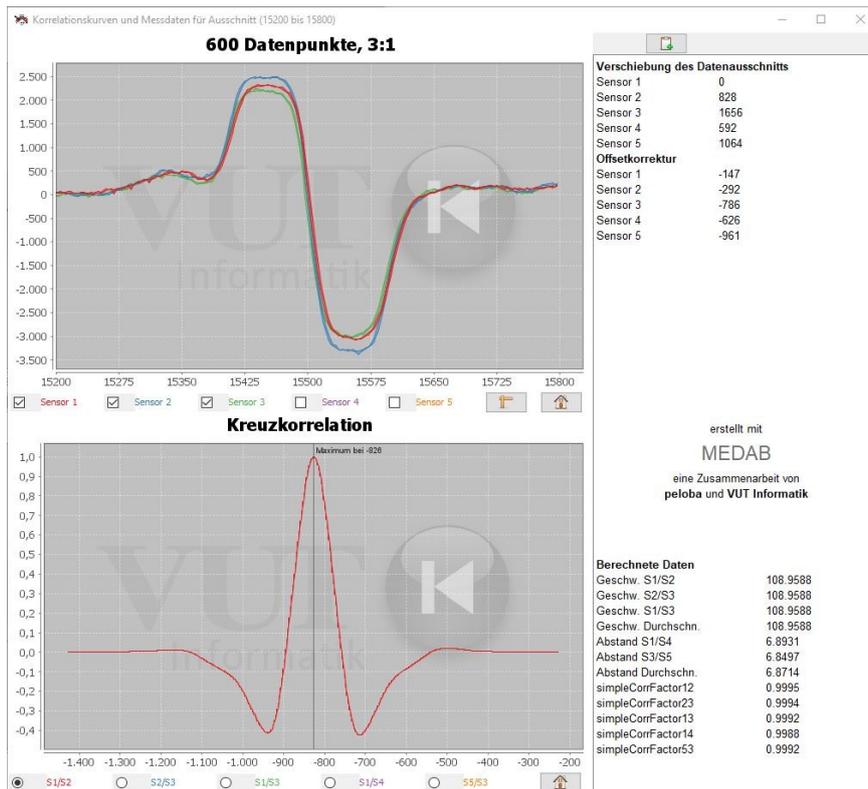


Abbildung 29: Auswertung dritter Teilbereich (Offset korrigiert)

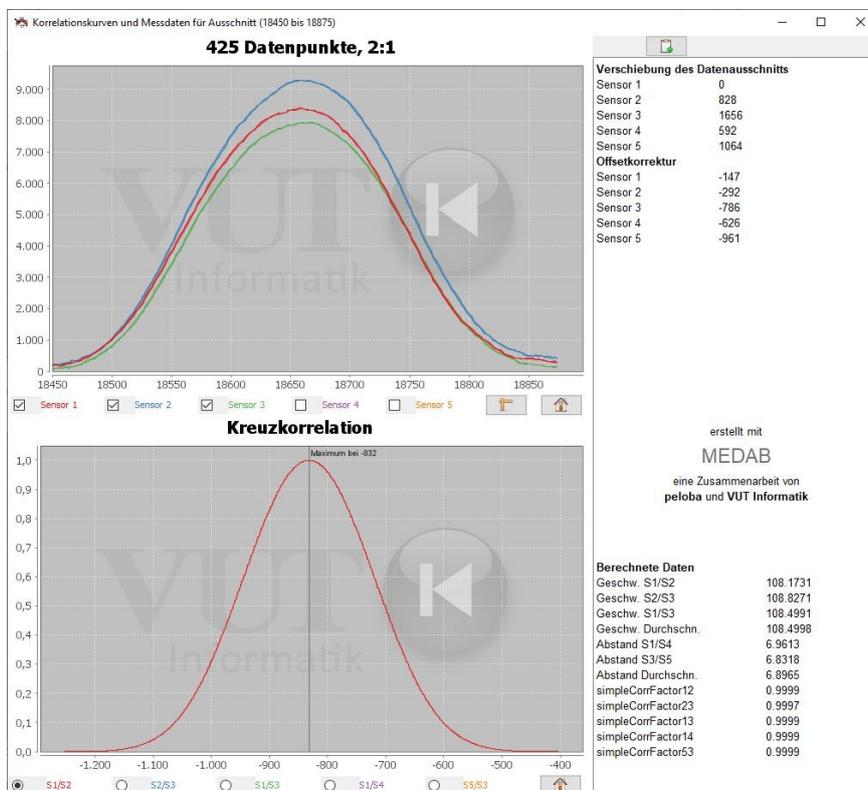


Abbildung 30: Auswertung vierter Teilbereich (Offset korrigiert)

A3: Auswertung Fallbeispiel – Kategorie „höhere Geschwindigkeit“

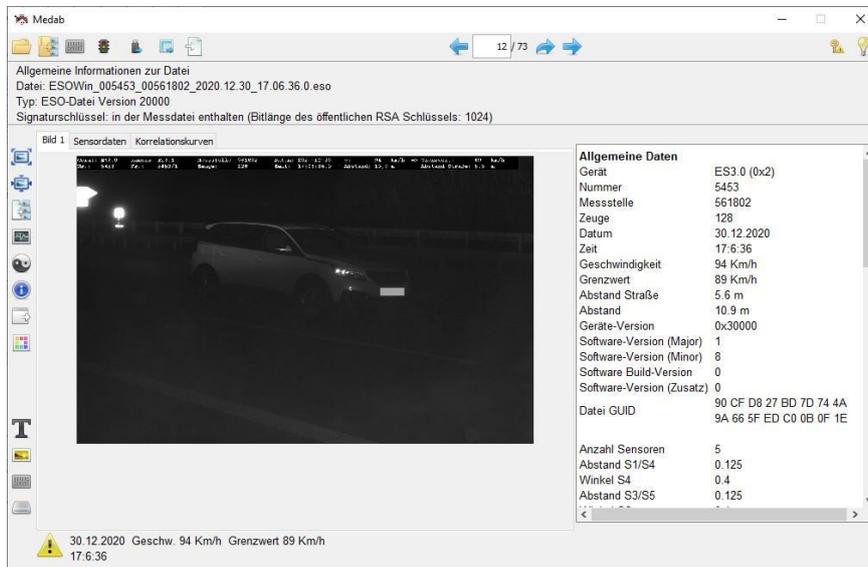


Abbildung 31: geöffnete Falldatei im eigenen Auswerteprogramm Medab

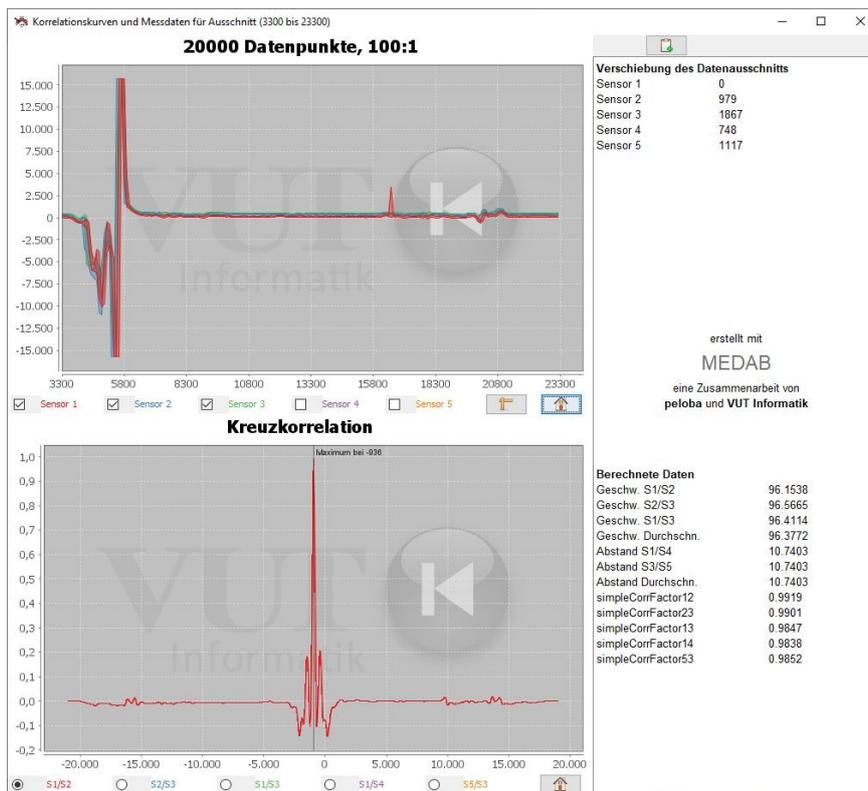


Abbildung 32: Durchfahrt des Fahrzeuges mit insgesamt zwei Teilbereichen

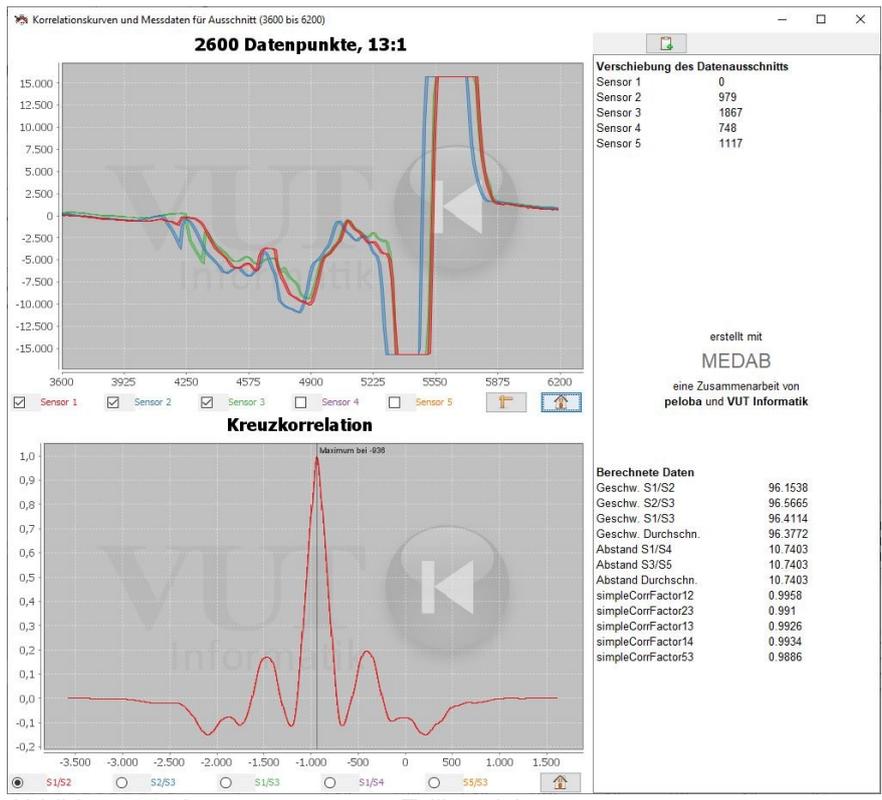


Abbildung 33: Auswertung erster Teilbereich

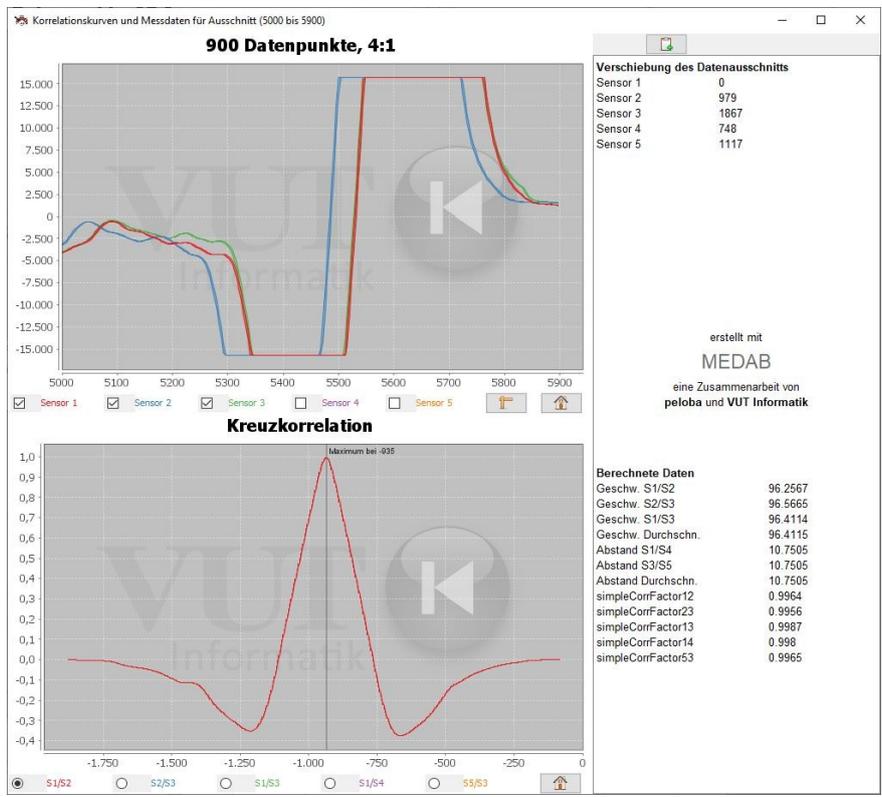


Abbildung 34: Auswertung hinterer Abschnitt aus Abb. 33

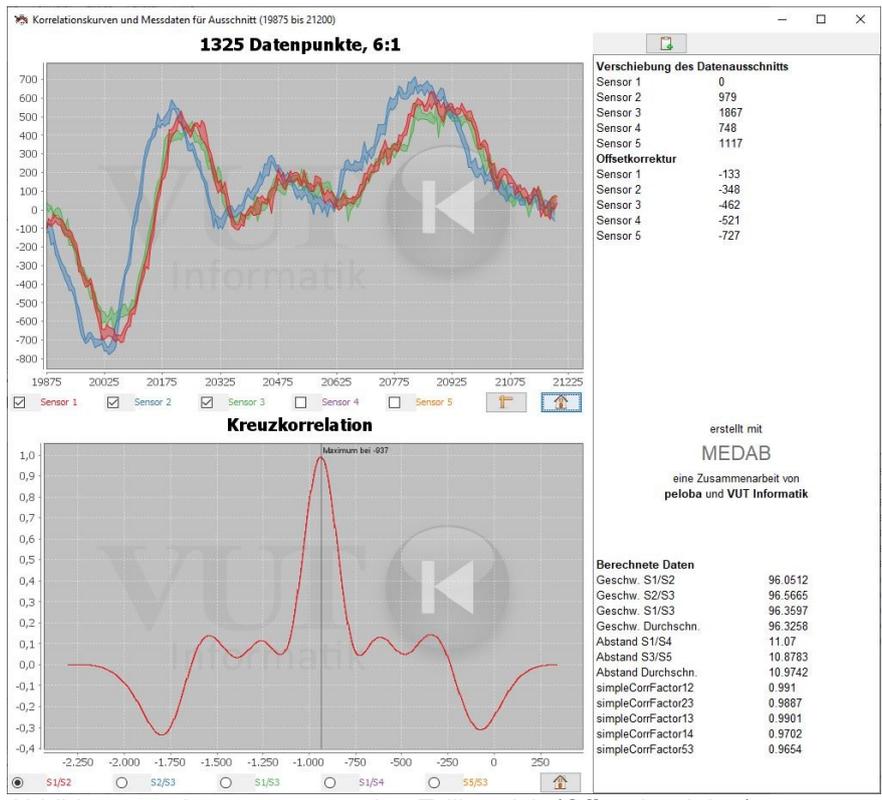


Abbildung 35: Auswertung zweiter Teilbereich (Offset korrigiert)

Literatur

- [1] Deutsche Forschungsgemeinschaft, Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis – Denkschrift, Wiley-VCH-Verlag, 2013[
- [2] Akteneinsichts- und Offenlegungsrechte im Bußgeldverfahren Jürgen Cierniak DAR 1/2014, S. 2ff
- [3] Kohlrausch Praktische Physik Band 3, ISBN 3-519-23000-3, Kapitel 09.2 download unter https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/publikationen/buecher/Kohlrausch/Band_3/Allgemeines_ueber_Messungen/Kohlrausch_3_Allgemeines_ueber_Messungen_und_ihre_Auswertung_Wichtige_Begriffe_der_Messtechnik.pdf
- [4] 7. Neufassung der Anlage zur innerstaatlichen Bauartzulassung, 30.12.2014
- [5] Handbuch und Gebrauchsanweisung ES3.0, Stand 15.12.2014
- [6] Dr. Mathias Grün und Dipl.-Ing. Ralf Schäfer. ES 3.0 - ein konstruktiver Diskussionsbeitrag VRR, 2014
- [7] AG Meißen, Urt. v. 29.5.2015 – 13 OWi 703 Js 21114/14
- [8] Stellungnahme der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) zum Urteil des Amtsgerichts Meißen vom 29.05.2015
- [9] Smykowski et al., DAR 4/2014
- [10] D. Schäfer / M.Grün in Messungen im Straßenverkehr, Burhoff/Grün (Herausgeber), 6. Auflage, Randnummer 1100ff, ZAP Verlag, 2023
- [11] <https://vut-verkehr.de/aktuelles/74/die-zukunft-des-standardisierten-messverfahrens-und-der-amtlichen-verkehrsueberwachung-in-deutschland---eine-sachverstaendige-interessenerklaerung>
- [12] <https://vut-verkehr.de/aktuelles/71/neverending-story-oder-ein-letztes-aufbaeumen->
- [13] <https://vut-verkehr.de/aktuelles/67/gesetzesinitiative-und-bverfg---die-zukunft-heisst-rohmessdaten>
- [14] eso & LED – wenn das „hypothetische Szenario“ wieder mal zur realen Fehlmessung führt, <https://vut-verkehr.de/aktuelles/73/eso-und-led---wenn-das---hypothetische-szenario---zur-realen-fehlmessung-fuehrt>
- [15] R. Bladt, H.-P. Grün, M. Grün, M. Müller, D. Schäfer, R. Schäfer, S. Schellenberg, Optische Täuschung - schneller dank LED, Stand 31.01.2019 <https://vut-verkehr.de/aktuelles/53/es3-0-und-led--fehlmessung-bewiesen>
- [16] M. Wenderoth, Th. Bock, A. Sitzmann, V. Fürbeth, R. Bladt, Abweichende Geschwindigkeitsmesswerte bei eso-Einseitensensoren durch pulsweitenmoduliertes LED-Licht, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, März 2019, S. 94-99
- [17] M. Mummert, T. Steinacker, Probleme bei der Geschwindigkeitsmessung von Fahrzeugen mit LED-Beleuchtung mit ESO 3.0, Deutsches Autorecht, Mai 2020, S. 280-290
- [18] PTB, Keine falschen Geschwindigkeitsmesswerte bei eso-Einseitensensoren für Fahrzeuge mit LED-Scheinwerfern oder intermittierenden Blinkern. Stand: 2. Juni 2020, <https://doi.org/10.7795/520.20200526>

Alle Urteile und Beschlüsse können unter <http://vut-verkehr.de/infothek/3/urteile-und-beschluesse> heruntergeladen werden.

Die Stellungnahmen der PTB können unter <https://www.ptb.de/cms/de/ptb/fachabteilungen/abt1/fb-13/ag-131/fb-13-grundsatzfragen.html> heruntergeladen werden.

Literatur

- [19] R. Wynands, Vom Nutzen der Schätzung, oder was bringt uns eine nachträgliche Plausibilisierung? PTB-Mitteilungen 129 (2019), Heft 2, S. 91-96
- [20] M. Rehm, „Rohmessdaten“ in der amtlichen Verkehrsüberwachung, Fachinformation 1/2021, Bundesverband Verkehrssicherheitstechnik e. V. 15.01.2021
- [21] Hans-Peter Grün / Mathias Grün / Dominik Schäfer / Ralf Schäfer, Nur mit Rohmessdaten sind Fehlmessungen aufzudecken, 2023, ZAP Verlag
- [22] Richtlinie zur Eichung des Geschwindigkeitsüberwachungsgeräts ES3.0 vom 24.03.2014 (12. Ausgabe)
- [23] PTB-Anforderungen PTB-A 18.11 Messgeräte im Straßenverkehr. Geschwindigkeitsüberwachungsgeräte, Dezember 2005
- [24] Dr. Mathias Grün, VRR 2014
- [25] <https://de.wikipedia.org/wiki/Signal-Rausch-Verh%C3%A4ltnis>
- [26] Waltraud Kessler. Multivariate Datenanalyse für die Pharma, Bio- und Prozessanalytik (Lehrbuch), WILEY-VCH, 2007
- [27] <https://github.com/wendykierp/JTransforms>
- [28] <https://vut-verkehr.de/aktuelles/70/leivtec-xv3---die-chronik-des-scheiterns>
- [29] <https://vut-verkehr.de/aktuelles/69/der-abschlussstand-der-ptb---das-ende-des-xv3->

Alle Urteile und Beschlüsse können unter <http://vut-verkehr.de/infothek/3/urteile-und-beschluesse> heruntergeladen werden.

Die Stellungnahmen der PTB können unter <https://www.ptb.de/cms/de/ptb/fachabteilungen/abt1/fb-13/ag-131/fb-13-grundsatzfragen.html> heruntergeladen werden.