

Optische Täuschung - schneller dank LED

LED-Licht gehört inzwischen zu den Standard-Leuchtmitteln in der Industrie wie im privaten Bereich. Mit LED – aus dem englischen „Light Emitting Diodes“, also lichtemittierende Dioden – verbindet man insbesondere energiesparende und langlebige Produkte im Vergleich zu den herkömmlichen Glühlampen.

In Kraftfahrzeugen sind LED-Leuchten seit einigen Jahren ebenso weit verbreitet. Die Überschrift über diesem Artikel soll nun nicht suggerieren, dass Fahrzeuge mit LED-Licht etwa schneller fahren können. Nein, aber es gibt ein Geschwindigkeitsmessgerät, welches sehr empfindlich auf LED-Licht reagiert und deshalb auch mal höhere Geschwindigkeiten misst, als das Fahrzeug tatsächlich gefahren ist.

Wenn Messergebnisse von amtlich zugelassenen und geeichten Messgeräten zum Nachteil der/s Betroffenen deutlich abweichen von den tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten, dann kann das sparsame Licht plötzlich teuer werden.

Bereits im Januar 2014 war theoretisch gezeigt worden, dass Licht aus unterschiedlichen Quellen, bzw. mit unterschiedlicher Geschwindigkeit das Rechenergebnis der Korrelationsrechnung beeinflusst¹.

Im Januar 2017 war die VUT Sachverständigen GmbH & Co. KG unter Verweis auf diesen Beitrag durch das Amtsgericht Neunkirchen² mit der Prüfung der Zulassung des Messgerätes eso ES3.0 beauftragt worden:

„Zum Beweis der Tatsache, dass das Messgerät in seiner jetzigen Form durch die PTB aus rechtlichen Gründen nicht hätte zugelassen werden dürfen und es sich dabei nicht um ein standardisiertes Messverfahren handelt, soll ein schriftliches Sachverständigengutachten eingeholt werden.“

Zu diesem Zweck war geplant, zusammen mit dem akkreditierten Prüflabor CTC advanced GmbH in Saarbrücken³ eine Versuchsreihe unter anderem zu Einflüssen durch LED, aber auch durch vertikale und Rollbewegungen von Scheinwerfern durchzuführen. Bereits damals war anhand von vorliegenden Falldateien der Verdacht aufgekommen, dass das Messgerät für Fehler durch diese Einflüsse empfindlich sein könnte.

Die Erfüllung dieses amtsgerichtlichen Auftrags scheiterte, da weder die saarländische Polizei noch ein Geräteverleiher oder der Hersteller ein Messgerät zur Verfügung stellten.

Im November 2017 veröffentlichte die VUT dann eine Stellungnahme mit der Überschrift „ES3.0 – Neue technische Entwicklungen stellen die Bauartzulassung in Frage“. Darin wird beispielhaft eine um 3 km/h zu hohe Messung der Geschwindigkeit analysiert, bei der durch LED-Licht verursachte störende Signalanteile die Messwertbildung nachteilig beeinflussen haben.

¹ M. Grün, Der Einseitensensor ES3.0 der Firma eso GmbH – (k)ein standardisiertes Messverfahren?, VRR, 2014, S. 14-18

² AG Neunkirchen; 19 OWi 65 Js 187/16 (37/16)

³ <https://ctcadvanced.com/de/>

Als Fazit ihrer Überprüfungen fordern die Sachverständigen der VUT auf, dass diese LED-Lichteffekte durch die Zulassungsbehörde Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)⁴ in einer Sonderuntersuchung analysiert werden müssten und alle Messungen mit diesem Messgerät durch Auswertung der Falldateien auf entsprechende Auffälligkeiten zu prüfen sind.

Die PTB hat entsprechende Untersuchungen durchgeführt, wie aus einer Stellungnahme vom 15.10.2018 hervorgeht⁵. Die PTB habe den Einfluss von LED-Leuchten auf Geschwindigkeitsmessungen mit dem Geschwindigkeitsüberwachungsgerät ES3.0⁶ bereits in 2017 geprüft, aber Abweichungen nicht gefunden. Vielmehr habe man festgestellt, dass alle Messungen entweder korrekt erfolgt oder vom Messsystem automatisch annulliert worden sein sollen. Dazu wird ein Gedankenmodell entwickelt, bei dem die Helligkeitsprofile nicht mehr zueinander passen sollen und das Messsystem daher die Messung verwirft (annulliert). Auch noch kompliziertere Szenarien könne man sich vorstellen. Aber bei allem, was den Mitarbeitern der PTB dazu eingefallen sei, würde immer eines der zahlreichen Annullierungskriterien „zuschlagen“ und die Messung annullieren. Daher sehe die PTB keinen sachlichen Grund, an der Messrichtigkeit der ES3.0-Messungen der Geschwindigkeit von Fahrzeugen zu zweifeln.

Sachverständige sehen das differenziert. Wenn bis zu 12 km/h höhere Geschwindigkeiten „gemessen“ werden, als das Tatfahrzeug tatsächlich gefahren ist, sind das sachliche Gründe genug, an der Messrichtigkeit zu zweifeln.

Am Beispiel eines ersten konkreten Falles wird nachfolgend der negative LED-Einfluss auf die Messwertbildung beim ES3.0 erläutert.

Die inzwischen hinlänglich bekannten Signalkurven einer ES3.0 Messung zeigen grafisch dargestellt das, was die 5 Sensoren mit ihren Fotodioden „sehen“, wenn ein Fahrzeug am Messgerät vorbeifährt, beispielhaft für eine fehlerfrei Aufzeichnung so:



Bild-Nr. 1.: Fehlerfreie Signalkurven Aufzeichnung

Bringt man die 3 für die Berechnung der Geschwindigkeit verwendeten Signale der Sensoren S1, S2 und S3 durch Korrelation zur Deckung, zeigt sich regelmäßig ein in hohem Maße (Gütefaktor über 92%) übereinstimmender Kurvenverlauf:

⁴ Wikipedia: Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) ist das nationale Metrologie-Institut der Bundesrepublik Deutschland mit wissenschaftlich-technischen Dienstleistungsaufgaben, eine Bundesoberbehörde und bundesunmittelbare, nicht rechtsfähige Anstalt des öffentlichen Rechts im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. - <https://www.ptb.de>

⁵ <https://doi.org/10.7795/520.20181012>

⁶ Einseitensensor ES3.0; PTB Bauartzulassung [18.11;06.04] vom 05.12.2006



Bild-Nr. 2.: Korrelierte Signalkurven S1 – S3

Am Beispiel einer durch LED-Licht beeinflussten Messung wird nun gezeigt, wo und wie dieser Einfluss erkennbar ist. Der konkrete Fall liefert zunächst wieder die korrelierten Signalkurven der Sensoren S1 – S3:



Bild-Nr. 3.: Korrelierte Signalkurven S1 – S3

Vorab fällt auf, dass lediglich zu Beginn und am Ende deutliche markante Ausschläge im Signalverlauf zu erkennen sind. Wesentliche Ursache hierfür ist die Messung bei Dunkelheit nachts um 00:21:32,4 Uhr. Die drei kleinen Peaks im mittleren Bilddrittel sind dem Blitzlicht zuzuordnen, welches zur Aufhellung des Beweisfotos eingesetzt wurde.

Hier wurde gemessen:



Bild-Nr. 4.: Stationäre ES3.0 Messstelle an der A 3 (Foto mit freundlicher Genehmigung: Christina Nover/Rhein-Zeitung)

Das zugehörige Beweisfoto zeigt das Fahrzeug:



Bild-Nr. 5.: Tatfahrzeug mit LED-Licht

Gemessen wurde dieser BMW mit einer Geschwindigkeit von 150 km/h. Auffällig wurde dieser Fall zunächst nicht durch den Einfluss des LED-Lichtes, sondern durch einen anderen Umstand.

Bei dem Messgerät ES3.0 gibt es neben der Geschwindigkeitsmessung auch die Messung des Seitenabstandes. Das Messgerät ermittelt, in welchem seitlichen Abstand das Fahrzeug an den Sensoren vorbeigefahren ist. Diese Messgröße des seitlichen Abstandes unterliegt der Eichpflicht und darf bei der Eichung⁷ maximal $\pm 0,3$ m vom tatsächlichen Abstand abweichen. Die Verkehrsfehlergrenzen⁸ der Abstandsmessung im Betrieb sind in der Bauartzulassung mit ± 1 m festgelegt.

Der im untersuchten Fall gemessene Abstand von 17,9 m wird direkt unter dem Ergebnis der Geschwindigkeitsmessung (150 km/h) in das Beweisfoto eingeblendet:



Bild-Nr. 6.: Teil der Datenzeile

An dieser Messstelle wird der ES3.0 als stationäre Messanlage betrieben, der „Abstand Straße“ ist daher konstant. Im Messprotokoll zu dieser Messstelle sind der Abstand des Sensors ES3.0 vom Fahrbahnrand und die Fahrspurbreiten dokumentiert:

Abstand des Messgerätes vom Fahrbahnrand:	2,9 m.
Standstreifen:	2,9 m breit
Rechte Fahrspur 1:	4,0 m breit
Mittlere Fahrspur 2:	3,7 m breit
<u>Linke Fahrspur 3:</u>	<u>4,3 m breit</u>
Überwacher Bereich insgesamt bis:	17,8 m

Bis zur linken weißen Begrenzungslinie des linken Fahrstreifens ergibt sich demnach eine Entfernung von 17,8 m. Kurz dahinter beginnt der mit Betonblöcken abgetrennte Mittelstreifen zwischen den beiden Fahrtrichtungen der Autobahn.

Der BMW soll in mit einem seitlichen Abstand von 17,9 m gemessen worden sein. Diese Messung bezieht sich nicht etwa auf die Fahrzeugmitte, sondern auf die Fahrzeugseite, die dem Sensor zugewandt ist – vorliegend also die im Bild erkennbare rechte Fahrzeugseite.

Berücksichtigt man die Breite dieses Fahrzeuges mit ca. 1,8 m und den erkennbaren Abstand der linken Fahrzeugseite von der linken Fahrspurbegrenzung von ca. 0,2 m, so ist von einem realistischen Seitenabstand von ca. 15,8 m (=17,8 m – 1,8 m - 0,2 m) auszugehen. Wäre der vom geeichten Messgerät ermittelte Seitenabstand von 17,9 m korrekt, müsste sich das Fahrzeug theoretisch auf den Betonblöcken des Mittelstreifens fortbewegen, was aber offensichtlich nicht der Fall ist:

⁷ Eichrichtlinie, 12. Ausgabe vom 24.03.2014, Abschnitt 2.3.1 „Prüfung der Messbasis und Messwertbildung“

⁸ 7. Neufassung der Bauartzulassung [18.11/06.04] vom 30.12.2014, Abschnitt 5.4.1 „Fehlergrenzen“

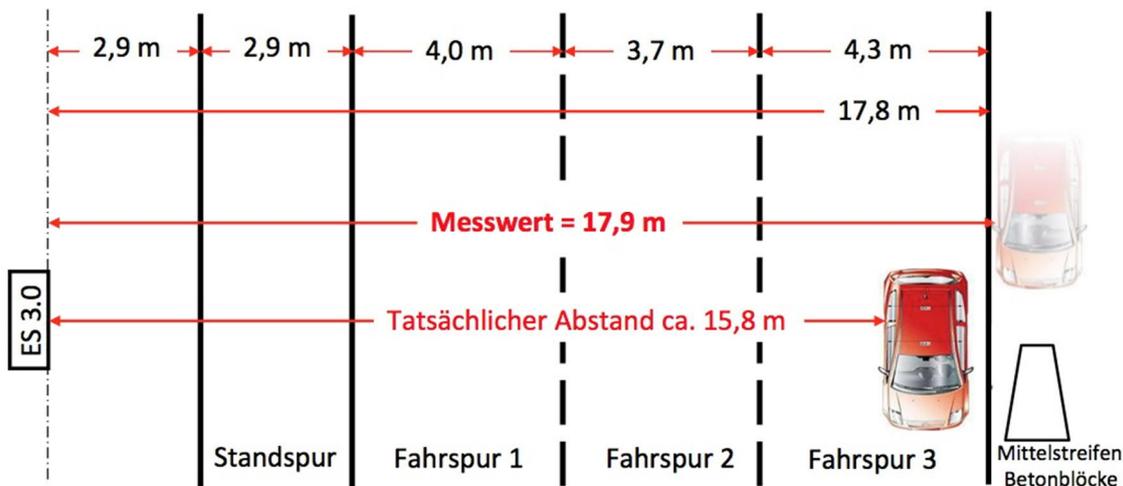


Bild-Nr. 7.: Maßstabgetreue Skizze der Draufsicht Messstelle

Die Differenz von mehr als 2 m zwischen gemessenem Seitenabstand 17,9 m und realistischem Seitenabstand von 15,8 m liegt deutlich außerhalb der Verkehrsfehlergrenze, die ja mit ± 1 m von der PTB festgelegt ist.

Wenn das Messgerät die Verkehrsfehlergrenzen nicht einhält, ist juristisch zumindest die Gültigkeit der Eichung insgesamt zu würdigen und zulassungsrechtliche Fragen müssen neu diskutiert werden, denn die Mess- und Eichverordnung (MessEV) schreibt im § 7 (1), 1 Absatz, Satz 2 und 3, vor: „Messgeräte müssen (2.) im Hinblick auf den vorgesehenen Verwendungszweck geeignet, zuverlässig und messbeständig sein, (3.) gegen **Verfälschungen von Messergebnissen** geschützt sein.“

An dieser Stelle kommt zusätzlich noch ein weniger beachteter Hinweis aus der Gebrauchsanweisung zum Tragen. Dort heißt es in Abschnitt 8 „Durchführung von amtlichen Messungen“ (Zitat):

„Die Bildung des Abstandswertes hängt vom Geschwindigkeitsmesswert ab, aber nicht umgekehrt. Somit kann bei Abweichungen des Abstandswertes nicht gefolgert werden, dass der Geschwindigkeitsmesswert eventuell in der gleichen Größenordnung abweichen könnte.“ – Zitatende.

Es kann daher – und das ist technisch nachvollziehbar – zu einer vom realen Wert abweichenden Abstandsmessung kommen, wenn der Geschwindigkeitsmesswert nicht korrekt ist, wobei die Größenverhältnisse der Abweichungen nicht gleich sein müssen. Die Abstandsmessung ist eine Differenzmessung und daher mit einem prozentual höheren Fehler behaftet als die reine Geschwindigkeitsmessung. Man darf deshalb den prozentualen Fehler der Abstandsmessung nicht 1:1 auf den prozentualen Fehler der Geschwindigkeitsmessung übertragen.

Mit anderen Worten: Ist die Geschwindigkeit fehlerhaft gemessen worden, kommt es auch regelmäßig zu einer fehlerhaften Messung des Seitenabstandes.

Da in dem hier untersuchten Fall die Abstandsmessung deutlich außerhalb der Fehlergrenzen lag, wurde wegen dieser Zusammenhänge die Geschwindigkeitsmessung des BMW näher untersucht, dessen Signalkurven sich „auf den ersten Blick“ als unauffällig zeigten (s. Bild-Nr. 3).

Erst bei genauerer Analyse der Signalkurven sind die Einflüsse der LED-Leuchten zu erkennen. Nicht alle LED-Leuchten liefern ein konstantes Licht. Häufig ist bei Tagfahrleuchten pulsierendes LED-Licht anzutreffen, bei dem in kurzen zeitlichen Abständen das Licht ein- und ausgeschaltet wird. Diese Abstände sind zeitlich so kurz, dass das menschliche Auge dies nicht wahrnimmt und stattdessen den Eindruck von „Dauerlicht“ hat. Wenn im Folgenden daher von „LED-Leuchten“ gesprochen wird, sind immer pulsierende LED-Leuchten gemeint.

Die Frequenz, mit der LED-Leuchten Licht ausstrahlen, ist nicht bei allen Fahrzeugen gleich. Von den Sachverständigen der argueMINT⁹ wurde inzwischen eine beachtenswerte Datenbank mit Frequenzmessungen angelegt. Hierzu wurden die Frequenzen von LED-Leuchten erfasst und aufgezeichnet, wie das Beispiel an einem Mini – Clubman, 2. Generation, ab Baujahr 2015 zeigt:

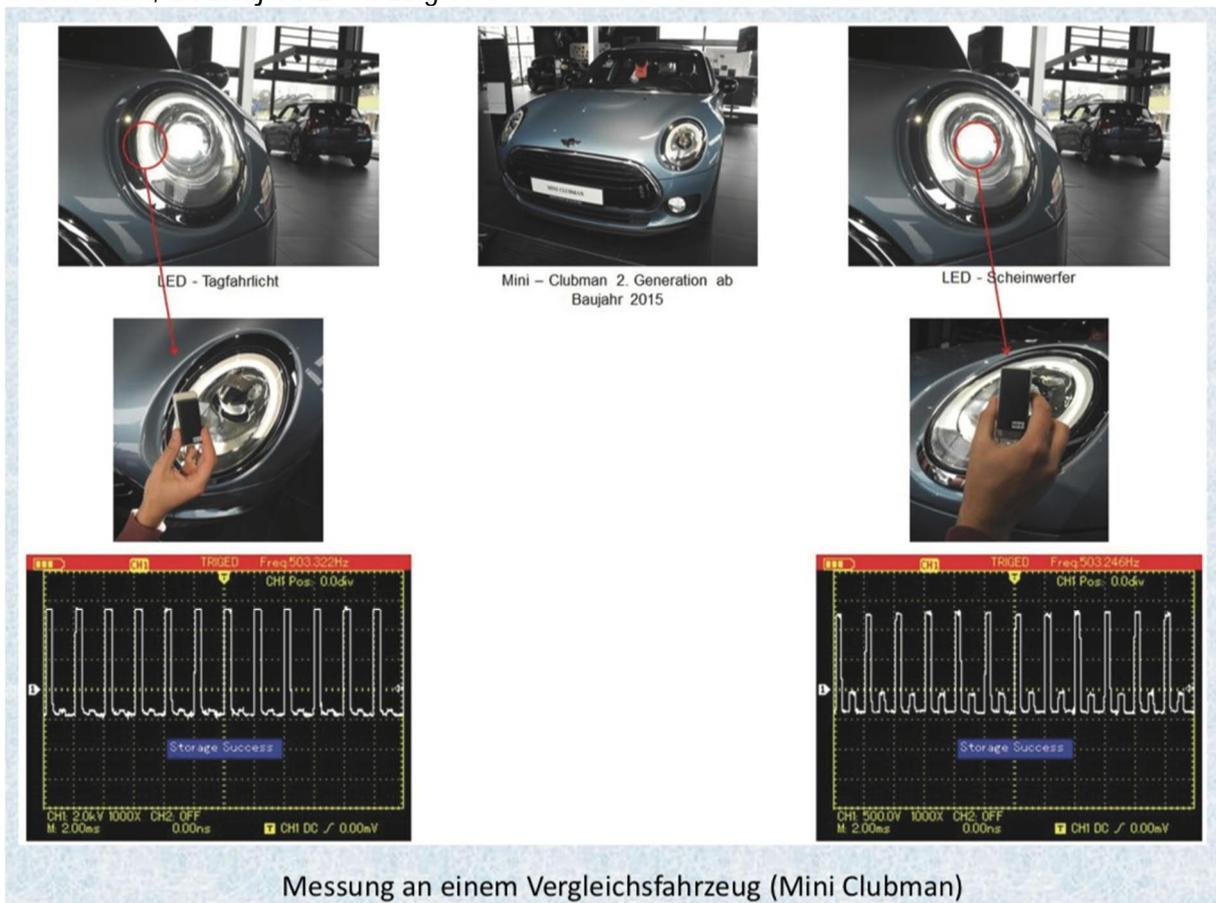


Bild-Nr. 8.: Frequenzmessungen LED Licht – Quelle/Bilder: Wolfgang Hugemann

Aus vielfältigen Untersuchungen kann hergeleitet werden, dass LED-Beleuchtung im Automobil häufig zwischen 100 und 500 Hz getaktet wird. Um diese Lichtimpulse in den Signalkurven der ES3.0-Messung zu erkennen, wird diese gestreckt dargestellt:

⁹ Arbeitsgemeinschaft für forensisch-technische Gutachter im Bereich der amtlichen Verkehrsüberwachung des Straßenverkehrs

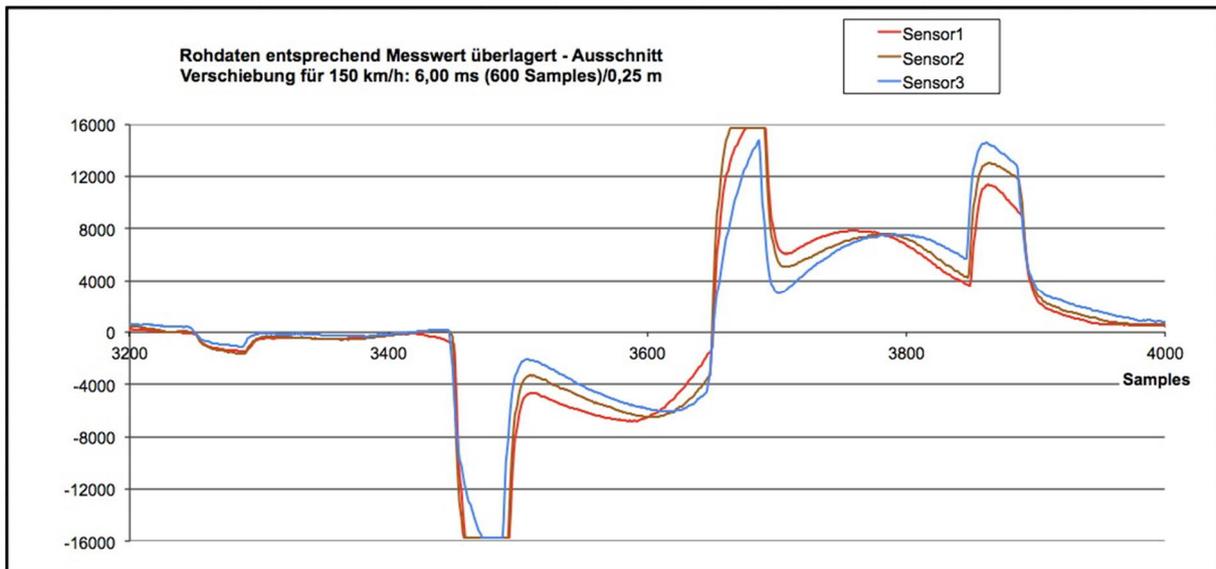


Bild-Nr. 9.: korrelierte Signalkurven S1 – S3 im Zeitfenster 32 – 40 Millisekunden

In dieser „gestreckten“ Darstellung sind die periodischen LED-Pulse im 2 ms-Takt deutlich zu erkennen:

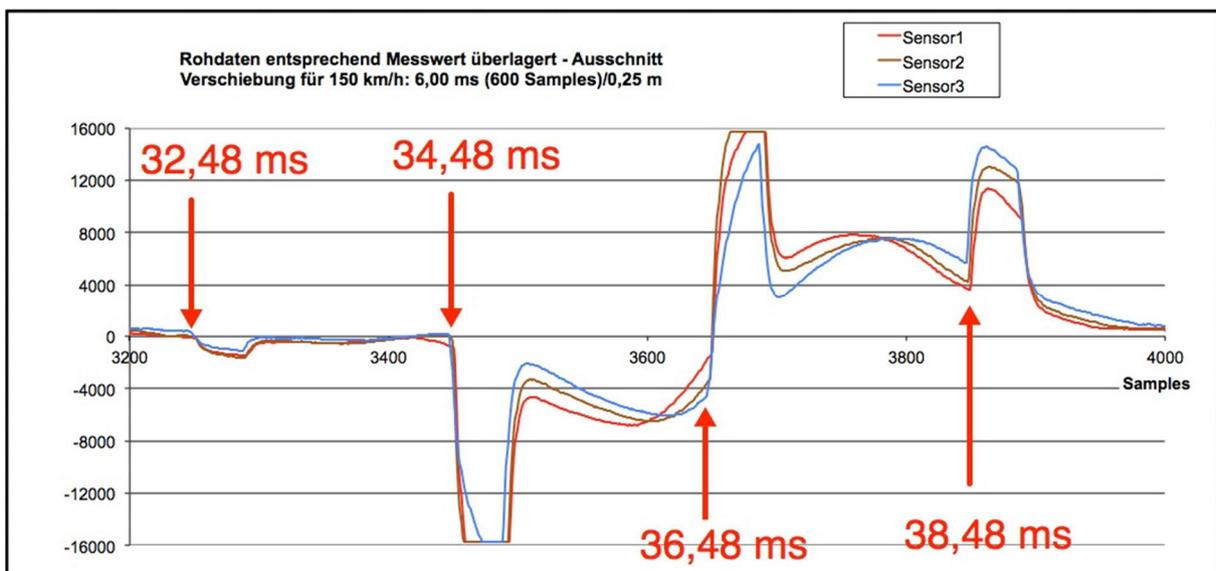


Bild-Nr. 10.: korrelierte Signalkurven S1 – S3 im Zeitfenster 32 – 40 Millisekunden

„Glättet“ man die Signalverläufe wird deutlich, wie die Kurven ohne die LED Pulse ausgesehen hätten, beispielhaft für die Signale des mittleren Sensors S 2:

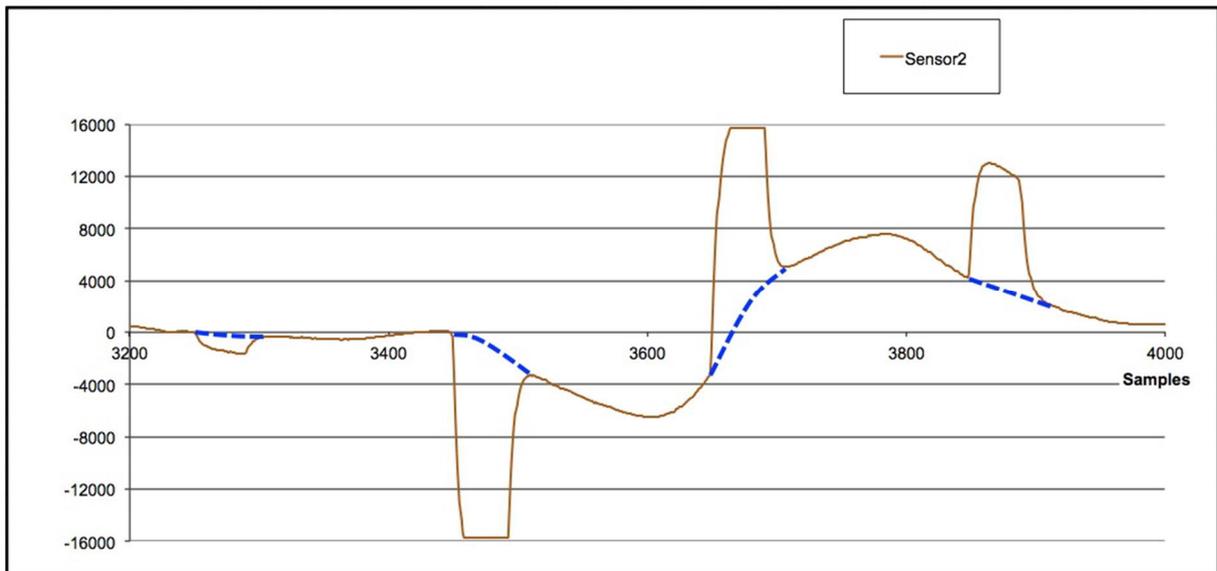


Bild-Nr. 11.: Geglättete Signalkurve S2

Wie schnell war der BMW denn tatsächlich? Ist die vom ES3.0 gemessene Geschwindigkeit von 150 km/h ohne jeglichen Zweifel (Wortlaut PTB) korrekt bestimmt worden oder ist der ES3.0 doch einer optischen Täuschung aufgesessen?

Über verschiedene Rechengänge können die Signalkurven analysiert werden. Die aufwendigste Methode ist sicher die zuvor gezeigte Glättung der Kurven mit anschließender Korrelationsrechnung. Diese Methode ist durch das mathematisch durchzuführende Glätten zwar mit geringen Fehlern behaftet, führt in vorliegendem Fall aber zu einer Geschwindigkeit von 146 bis 147 km/h. Vom ES3.0 wurde eine Geschwindigkeit von 150 km/h gemessen:

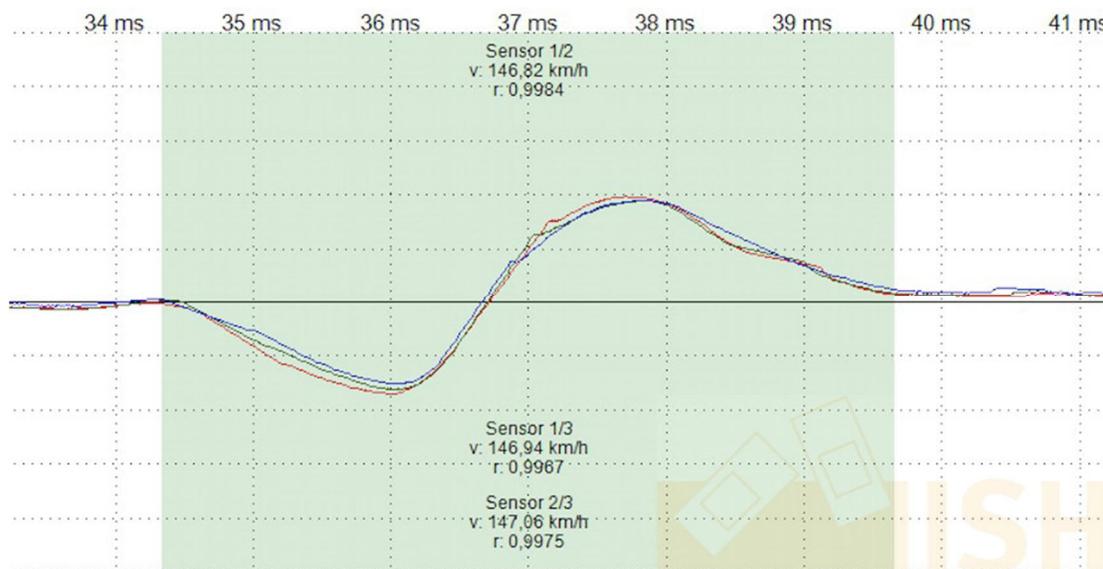


Bild-Nr. 12.: Korrelationswerte im Bereich 34,5 – 39,5 ms

Einfacher ist jedoch die Auswertung an einzelnen Peaks der Signalkurven ausschließlich in den Bereichen, die nicht durch das LED-Licht „gestört“ wurden. In den unkorrelierten Signalkurven werden exakt die Zeiten gemessen, die von Peak zu Peak in ihren jeweiligen Spitzenwerten der drei Sensoren benötigt werden:

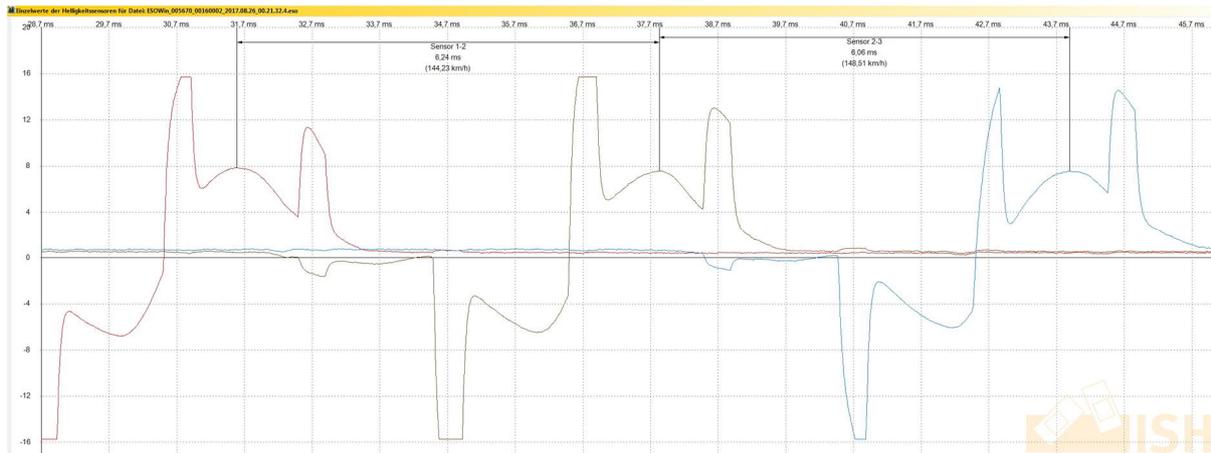


Bild-Nr. 13.: Unkorrelierte Signalkurven

Eine Ausschnittvergrößerung zeigt die Auswertung beispielhaft für die Zeitmessung zwischen Sensor S1 und S2:

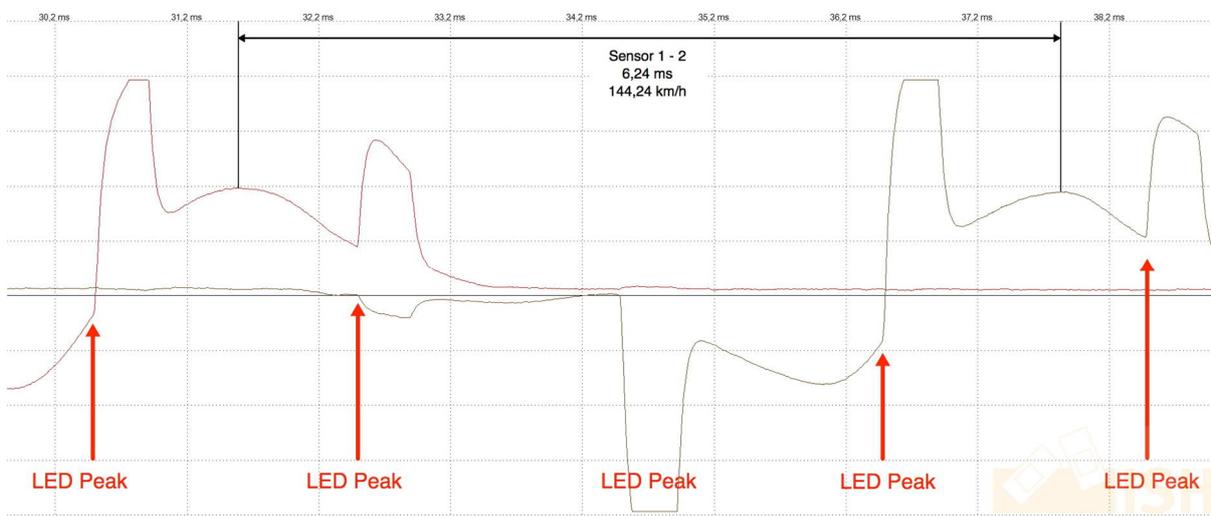


Bild-Nr. 14.: Zeitmessung Peaks S1 – S2

An diesem 1. Peak außerhalb der LED-Lichteffekte lässt sich eine Zeitdifferenz zwischen den Signalen S 1 und S 2 von 6,24 ms bestimmen. Bei einem Abstand von 25 cm zwischen den Sensoren S 1 und S 2 berechnet sich daraus eine Geschwindigkeit von

$$V = \frac{0,25m}{0,00624s} = 40,064 m/s = 144,24 km/h$$

Diese Form der Auswertung führt an verschiedenen Peaks insgesamt zu Werten (abgerundet) zwischen 144 km/h und 147 km/h.

In einer anderen Form der Auswertung verschiebt man die Signalkurven so, dass eine optimale Überdeckung (Korrelation ohne LED-Peaks) erzielt wird. Auch daraus ergeben sich realistische Werte für die Geschwindigkeit, die das Fahrzeug tatsächlich gefahren ist:

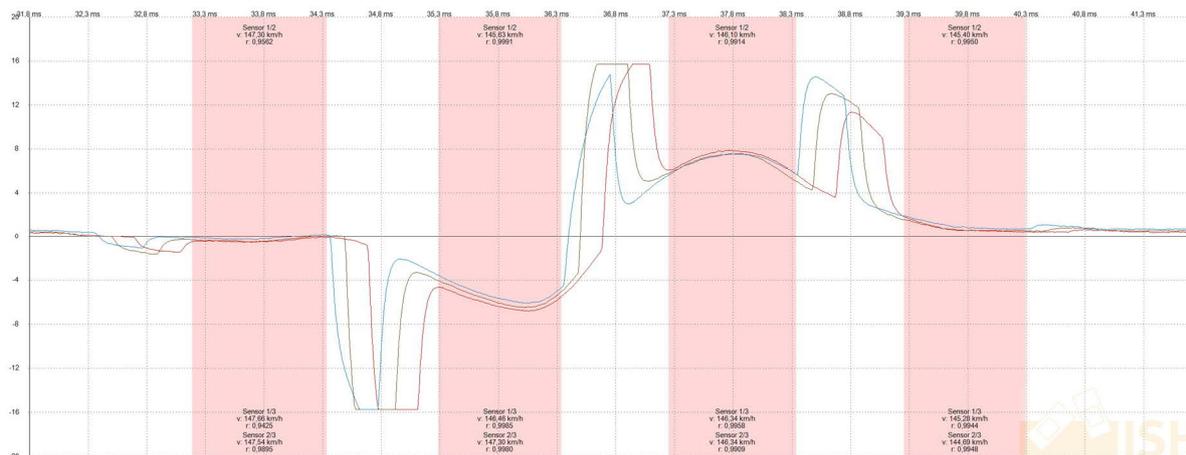


Bild-Nr. 15.: Korrelationswerte im Bereich 34,5 – 39,5 ms

In diesen 4 beispielhaft ausgewerteten korrelierten Streckenabschnitten über jeweils mindestens 4,5 cm Aufzeichnungslänge ergeben sich Geschwindigkeiten zwischen 144,69 und 147,66 km/h, wobei sämtliche Ergebnisse einen Korrelationsfaktor > 92 % haben.

Eine vierte Möglichkeit bietet sich an, die Signalverläufe am Ende der Signalkurven zu analysieren, also in einem Bereich, in dem es keine Störeffekte durch LED gegeben hat.

In diesem Bereich ermittelt sich eine Geschwindigkeit von 146 km/h:

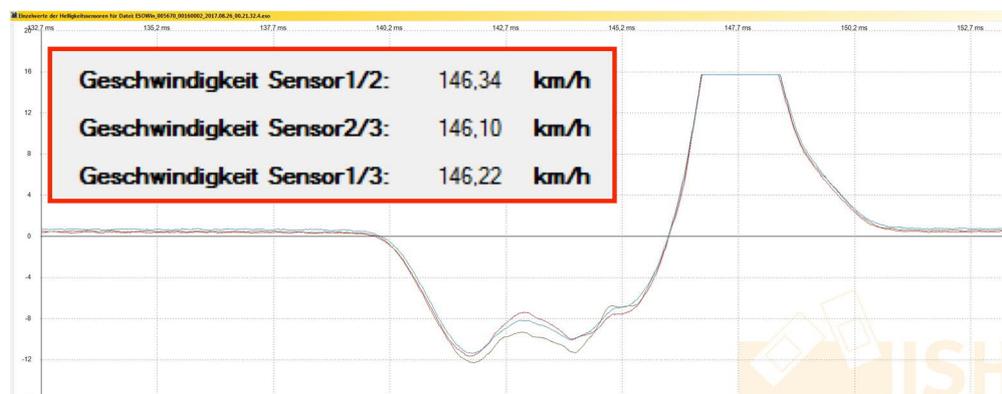


Bild-Nr. 16.: Korrelationsrechnungen Geschwindigkeiten am Ende der Signalaufzeichnungen

Alle vier Auswertemethoden liefern übereinstimmende Ergebnisse im Bereich von 144 km/h bis 147 km/h, keinesfalls jedoch die vom ES3.0 gemessenen 150 km/h.

Ergebnis:

Durch den Einfluss von LED-Licht kann es zu fehlerhaften Messergebnissen kommen, die außerhalb der Verkehrsfehlergrenzen liegen. Diese Fehlerquellen sind strukturell im Messsystem angelegt.

Die vorstehenden Auswertungen zeigen, dass

- (1) keines der „zahlreichen Annullierungskriterien zugeschlagen¹⁰“ hat, denn die Messdatei existiert ja,

¹⁰ Wortlaut in einer PTB Erklärung vom 21.09.2018 an das AG Linz

- (2) die LED-Lichteffekte zweifelsfrei störende Impulse sind, die das korrekte Ergebnis deutlich zum Nachteil eines/er Betroffenen verfälscht haben,
- (3) die Messung des Seitenabstandes ein Ergebnis eindeutig außerhalb der Verkehrsfehlergrenzen geliefert hat, weil die Geschwindigkeit falsch ermittelt wurde.

Der Kreis schließt sich an dieser Stelle, wenn im hier untersuchten Fall mit dem richtigen Ergebnis der Geschwindigkeit (nicht die 150 km/h !) eine Berechnung des Seitenabstandes durchgeführt wird. Dazu werden die Signalwerte der Sensoren S 4 und S 5, die für die Abstandsberechnung verantwortlich sind, zur maximalen Überdeckung ohne LED-Lichtanteile korreliert:

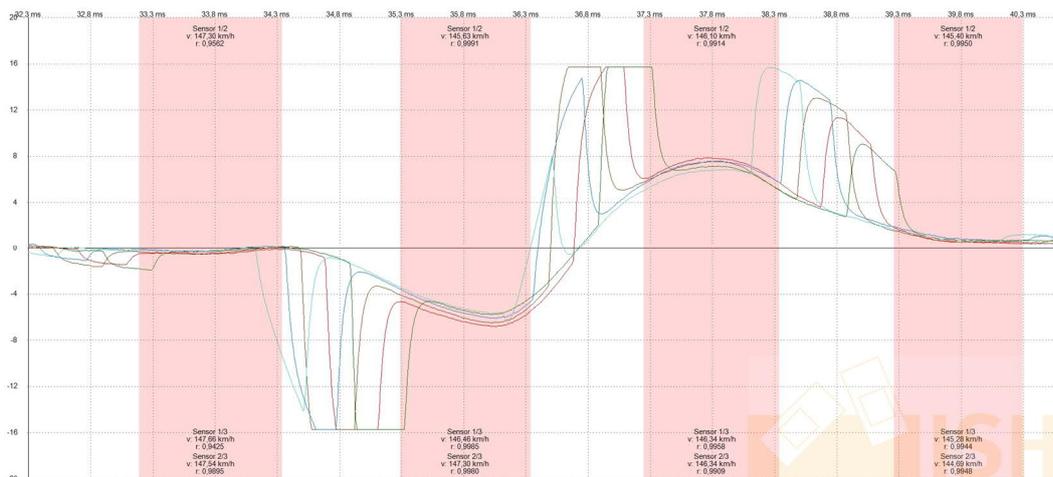


Bild-Nr. 17.: Korrelation Sensoren S 1 – S 5 im Bereich 34,5 – 39,5 ms

Das Ergebnis überrascht nicht, denn der Seitenabstand beträgt zwischen 15,6 und 15,8 m und ist damit stimmig mit den eingangs angestellten Überlegungen und insbesondere stimmig mit der im Beweisfoto erkennbaren tatsächlichen Fahrzeugposition:

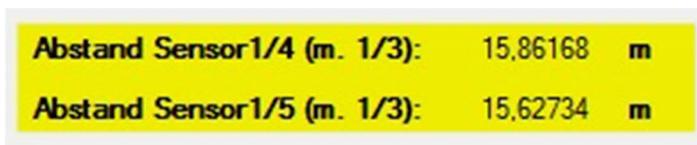


Bild-Nr. 18.: Berechnung Seitenabstand

Dieser Abstandswert wird auch durch die Signalkurven am Ende der Aufzeichnungen bestätigt, bei denen kein LED-Licht Einfluss auf die Signale genommen hat:



Bild-Nr. 19.: Korrelationsrechnungen zum Seitenabstand am Ende der Signalaufzeichnungen

Durch mehrfache Verifikation (Fotoauswertung und Signalkurven) ist festzustellen, dass die angezeigte Geschwindigkeit und der angezeigte Seitenabstand der hier überprüften

Messung fehlerhaft sind, weil LED-Licht Einfluss auf den Messalgorithmus des ES3.0 genommen hat.

Die PTB argumentiert in Fällen wie dem hier beispielhaft gezeigten, dass die zulässigen Verkehrsfehlergrenzen nicht überschritten worden sind. Dies trifft im Bezug auf die durch das Messgerät ermittelte Geschwindigkeit auch zu, nicht aber auf den Seitenabstand.

Angezeigter Messwert: 150 km/h
Abzüglich Verkehrsfehler 3% = 150 km/h - 4,5 km/h = 145,5 km/h; abzurunden auf
vorwerfbare Geschwindigkeit = 145 km/h

Ein weiterer Fall eines Mercedes C 180 Avantgarde mit „Intelligent Light System LED“, der deshalb nachfolgend vorgestellt wird, zeigt auf, dass die zulässigen Verkehrsfehlergrenzen bei der Geschwindigkeitsermittlung nicht zwingend eingehalten werden:

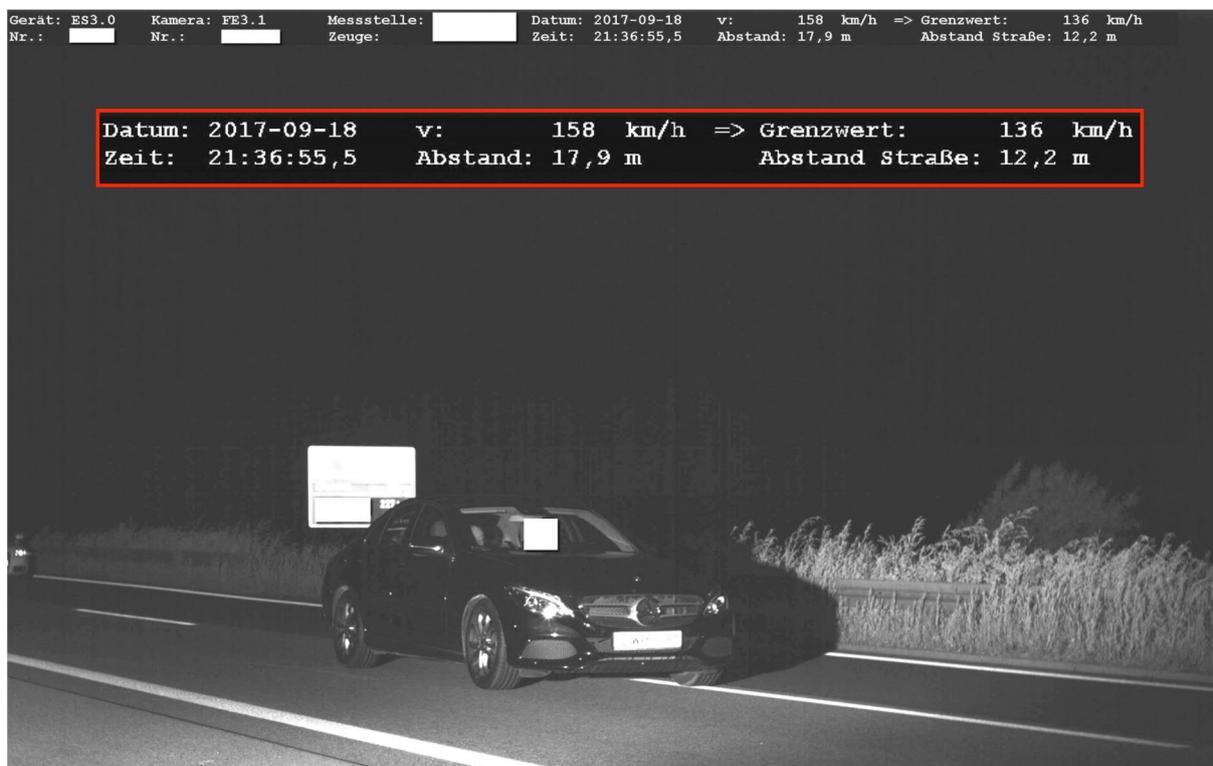


Bild-Nr. 20.: Tatfahrzeug mit LED-Licht

Gemessen wurde das abgebildete Fahrzeug mit einer Geschwindigkeit von 158 km/h. Der in diesem untersuchten Fall gemessene Abstand von 17,9 m wird direkt unter dem Ergebnis der Geschwindigkeitsmessung (158 km/h) in das Beweisfoto eingeblendet:

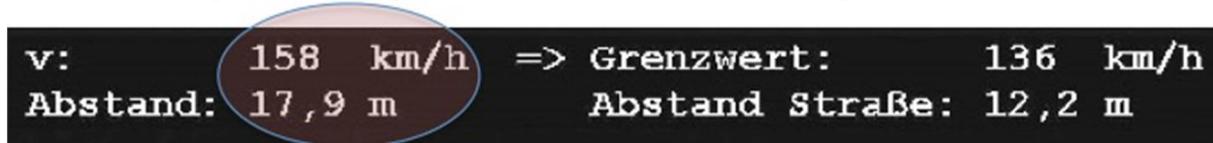


Bild-Nr. 21.: Teil der Datenzeile

Im Messprotokoll zu dieser Messstelle sind der Abstand des Sensors ES3.0 vom Fahrbahnrand und die Fahrspurbreiten dokumentiert:

Abstand des Messgerätes vom Fahrbahnrand: 12,2 m.

Rechte Fahrspur 1:	4,0 m breit
Linke Fahrspur 3:	4,0 m breit
Überwachter Bereich insgesamt bis:	20,2 m

Bis zur linken weißen Begrenzungslinie des linken Fahrstreifens ergibt sich demnach eine Entfernung von 20,2 m. Kurz dahinter beginnt der mit Leitplanke abgetrennte Mittelstreifen zwischen den beiden Fahrtrichtungen der Autobahn.

Der Abstand bis zur weißen mittleren unterbrochenen Fahrspurbegrenzung zwischen den beiden Fahrspuren beträgt demnach $12,2\text{ m} + 4,0\text{ m} = 16,2\text{ m}$. Der Mercedes wurde mit einem seitlichen Abstand von 17,9 m gemessen.

Wäre der vom geeichten Messgerät ermittelte Seitenabstand von 17,9 m korrekt, müsste sich das Fahrzeug theoretisch auf der linken Fahrspur überwiegend links fortbewegen, was aber offensichtlich nicht der Fall ist:

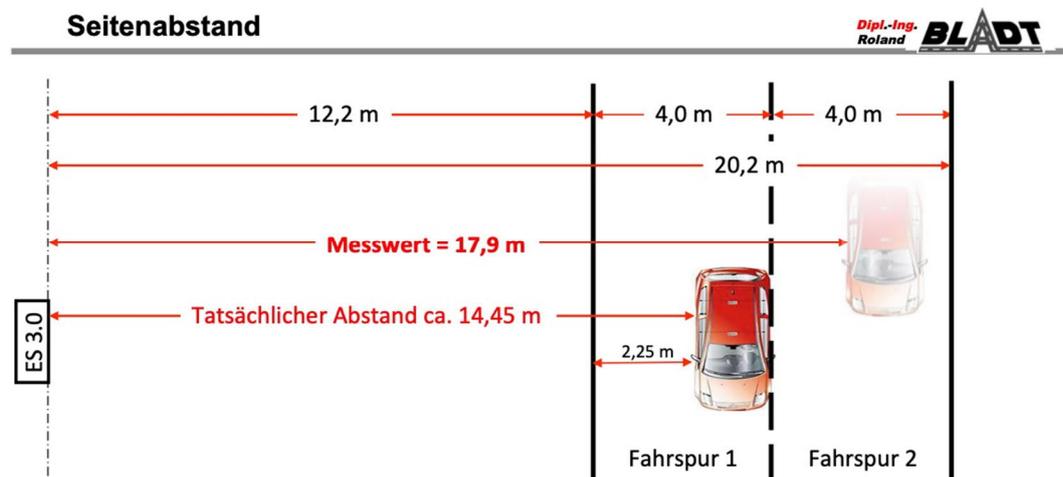


Bild-Nr. 22.: Maßstabgetreue Skizze der Messstelle – Draufsicht

Analyse der Signalkurven

Im nächsten Schritt soll auch zu diesem konkreten Beispiel die Analyse der Signalkurven vorgestellt werden, zunächst die Signalkurven der Sensoren 1 bis 3, korreliert:

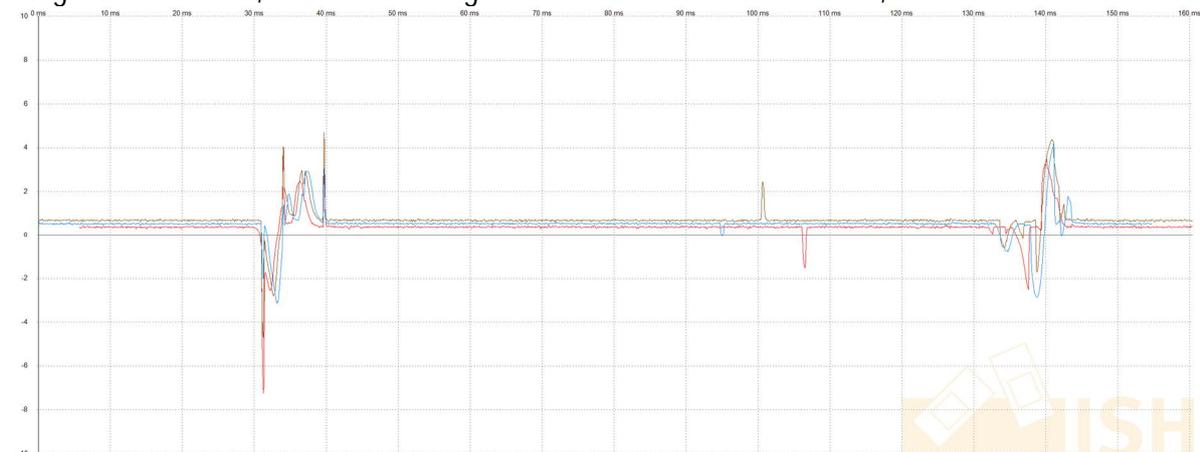


Bild-Nr. 23.: korrelierte Signalkurven S1 – S3

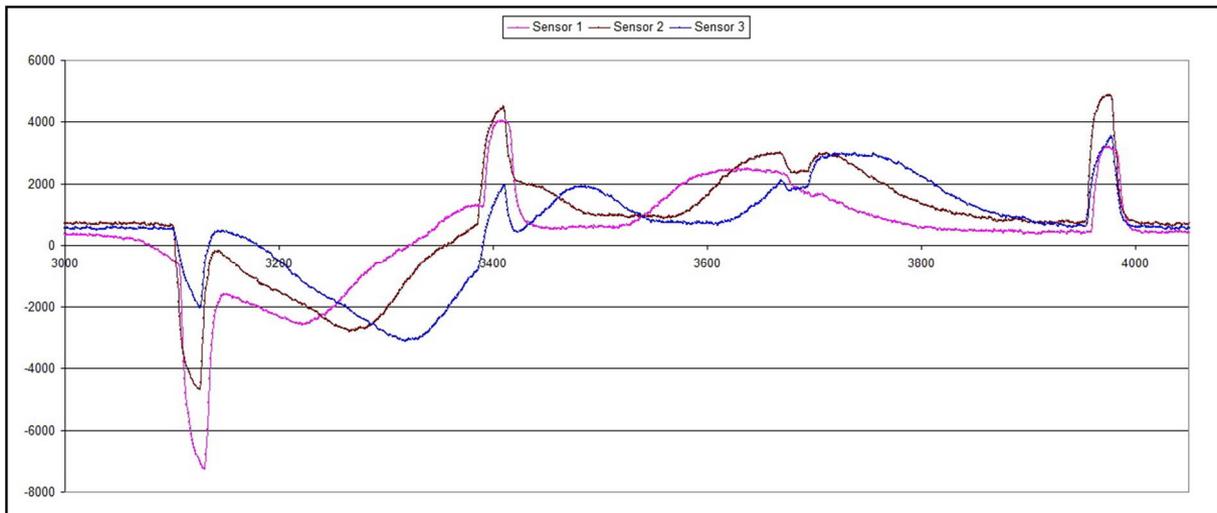


Bild-Nr. 24.: korrelierte Signalkurven S1 – S3 im Zeitfenster 30 – 40 Millisekunden

Der inzwischen „geschulte Blick“ erkennt sofort wieder die typischen Haifisch-Finnen als Folge der LED-Licht Einstrahlung in den Signalkurven, die in konstanten Abständen, aber in vertikal unterschiedlicher Ausprägung die Kurven charakterisieren. Der normale Verlauf der Signale – nachfolgend am Beispiel des mittleren Sensors S 2 – stellt sich mit den blau gepunkteten Verbindungslinien so dar:

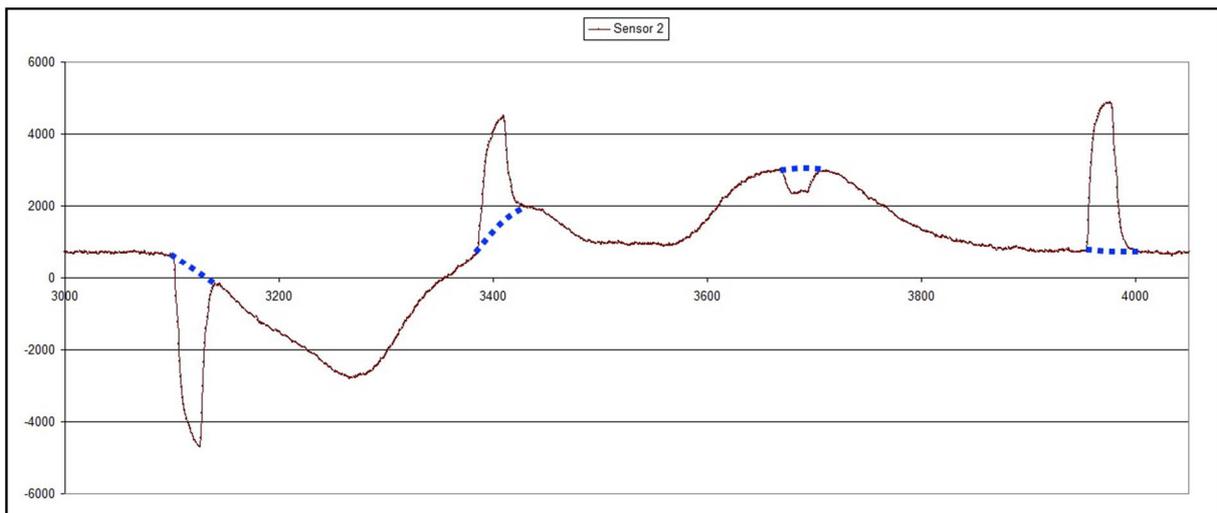


Bild-Nr. 25.: Geglättete Signalkurve S 2

Jetzt stellt sich natürlich sofort auch hier die Frage: Wie schnell war der Mercedes denn tatsächlich? Ist die vom ES3.0 gemessene Geschwindigkeit von 158 km/h korrekt bestimmt worden oder hat der interne Auswertalgorithmus der ES3.0 die aufgezeichneten Signale ebenfalls falsch interpretiert?

Erneut werden nachfolgend mit verschiedenen Rechengängen die Signalkurven analysiert.

Methode 1

Zum Nachweis der tatsächlichen Geschwindigkeit werden in den unkorrelierten Signalkurven exakt die Zeiten ermittelt, die von Peak zu Peak in ihren jeweiligen Spitzenwerten der drei Sensoren benötigt werden:

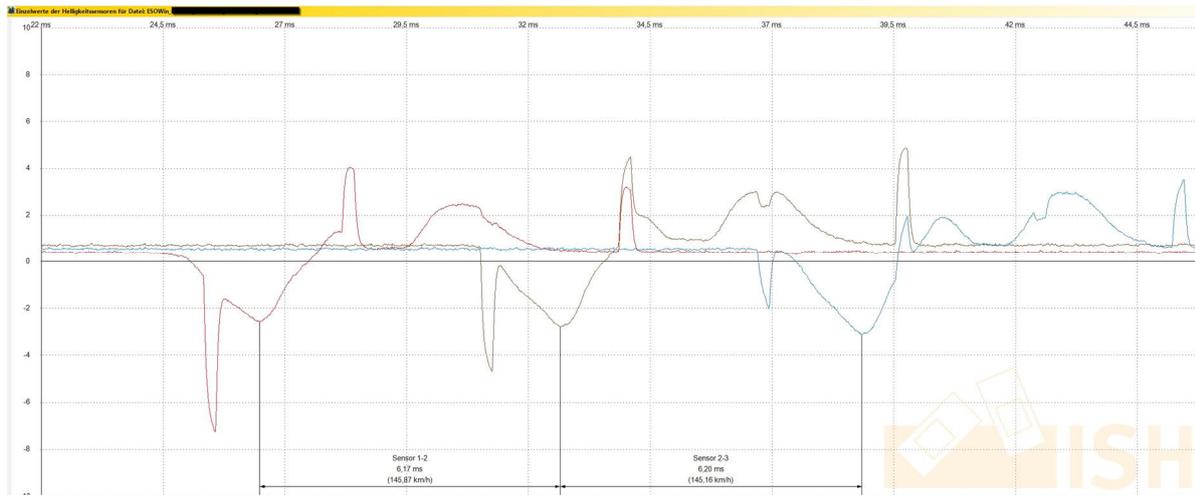


Bild-Nr. 26.: Unkorrelierte Signalkurven

Eine Ausschnittvergrößerung zeigt die Auswertung beispielhaft für die Zeitmessung zwischen Sensor S 1 und S 2:

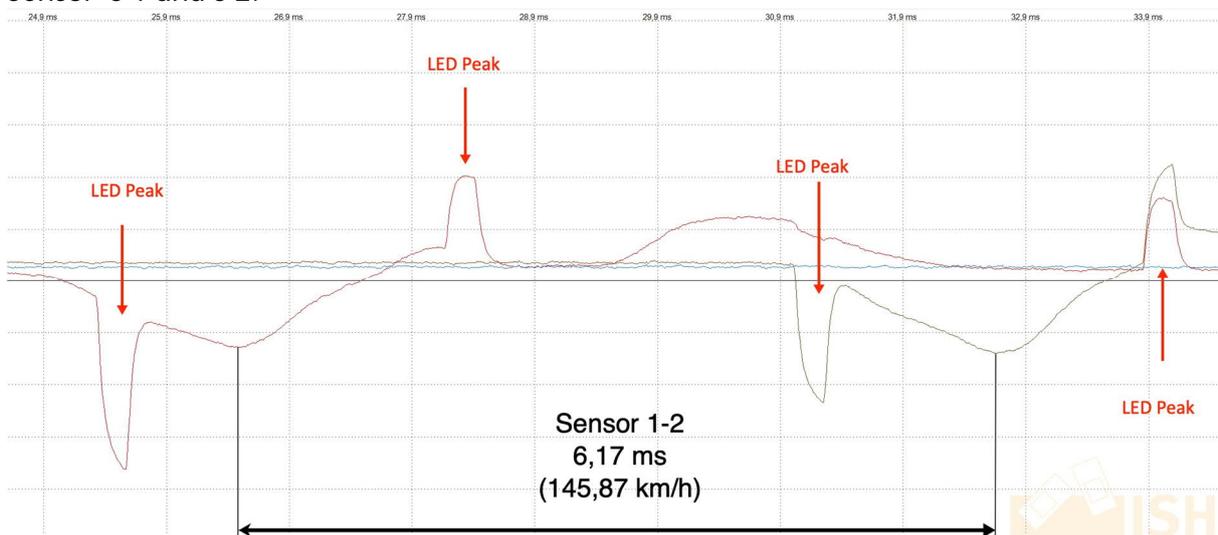


Bild-Nr. 27.: Zeitmessung Peaks S 1 – S 2

An diesem 1. Peak außerhalb der LED-Lichteffekte lässt sich eine Zeitdifferenz zwischen den Signalen S 1 und S 2 von 6,17 ms bestimmen. Bei einem Abstand von 25 cm zwischen den Sensoren S 1 und S 2 berechnet sich daraus eine Geschwindigkeit von

$$V = \frac{0,25m}{0,00617s} = 40,5186 m/s = 145,867 km/h$$

Diese Form der Auswertung führt an verschiedenen Peaks insgesamt zu Werten (abgerundet) von 144 km/h bis 146 km/h.

Methode 2

Zur Auswertung werden die Signalkurven so gegeneinander verschoben, dass eine optimale Überdeckung (Korrelation ohne LED-Peaks) erzielt wird. Zur Deckung gebracht (korreliert) wurde über dem ersten „gemeinsamen“ Peak bei 32,65 ms.

Die Maximal (Minimal-)Werte des ersten Peak-Down liegen bei:
S1 = -2584

S2 = -2801
 S3 = -3141

Daraus ergeben sich realistische Werte für die Geschwindigkeit, die das Fahrzeug tatsächlich gefahren ist:



Bild-Nr. 28.: Auf Maximum bei t = 32,65 ms korrelierte Signalkurven

In diesen 3 beispielhaft ausgewerteten korrelierten Streckenabschnitten über jeweils mindestens 6,1 cm Aufzeichnungslänge ergeben sich Geschwindigkeiten zwischen 143,20 und 145,63 km/h, wobei sämtliche Ergebnisse einen Gütefaktor > 98 % haben.

Bereich 1		Bereich 2		Bereich 3	
31,96 - 33,35 ms = 6,1 cm		34,76 - 36,15 ms = 6,1 cm		37,63 - 39,02 ms = 6,1 cm	
144,46 km/h	99,72 %	144,23 km/h	98,95 %	145,40 km/h	99,43 %
145,04 km/h	99,70 %	144,81 km/h	98,58 %	143,20 km/h	99,25 %
145,63 km/h	99,83 %	145,16 km/h	98,33 %	144,00 km/h	99,40 %

Diese Form der Auswertung führt an verschiedenen Peaks insgesamt zu Werten (abgerundet) von 143 km/h bis 145 km/h.

Fasst man diese in engen Grenzen übereinstimmenden Ergebnisse der Auswertungen in so unterschiedlichen Teilbereichen als durchschnittliche Werte zusammen, so kann dies übersichtlich wie in nachfolgender Tabelle gezeigt werden:

Korrelation Geschwindigkeit		Korrelation Seitenabstand		
$\Delta t_1 t_2 =$	617	$\Delta t_2 t_4 =$	49	
$\Delta t_1 t_3 =$	1237	$\Delta t_2 t_5 =$	63	
$\Delta t_2 t_3 =$	620			
Berechnung der Geschwindigkeit V				Abweichung
Geschwindigkeit V_{12}	40,5186	m/sec =	145,9 km/h	= 7,68 %
Geschwindigkeit V_{13}	40,4204	m/sec =	145,5 km/h	= 7,90 %
Geschwindigkeit V_{23}	40,3226	m/sec =	145,2 km/h	= 8,13 %
Toleranz der Einzelwerte zum Messwert < 3 % eingehalten:				⊗
Mittelwert korrelierte Geschwindigkeit = V_{Korr}:			145,51 km/h	= 7,90 %
Approx Speed aus Messdatei:			157,62 km/h	
Angezeigte Geschwindigkeit V_{Mess}:			158 km/h	
Geschwindigkeit Bußgeldverfahren:			153 km/h	
Abstandsmessung				
Abstand über S4 mit V_{12}	15,06 m	Abstand im Beweisfoto:	17,90 m	
Abstand über S5 bei V_{23}	14,27 m	Mittelwert aus Korrelation:	14,66 m	
zul. Toleranz = +/- 1,00 m		Bereich:	von 16,90 m bis 18,90 m	
Divergenz:	3,24 m	Vorgabe PTB erfüllt:	nein	

Ergebnis: Eine Abweichung von ca. 8 % zum angezeigten Messwert ist realistisch.

Abstandsmessung

Führt man mit der korrekt ermittelten Geschwindigkeit (nicht die 158 km/h !) eine Berechnung des Seitenabstandes durch, so zeigt sich, dass dieser damit auch zweifelsfrei mit der tatsächlichen Position auf dem Foto in Übereinstimmung zu bringen ist. Dazu werden die Signalwerte der Sensoren S 4 und S 5, welche für die Abstandsberechnung verantwortlich sind, zur maximalen Überdeckung (ohne LED-Lichtanteile !) korreliert:

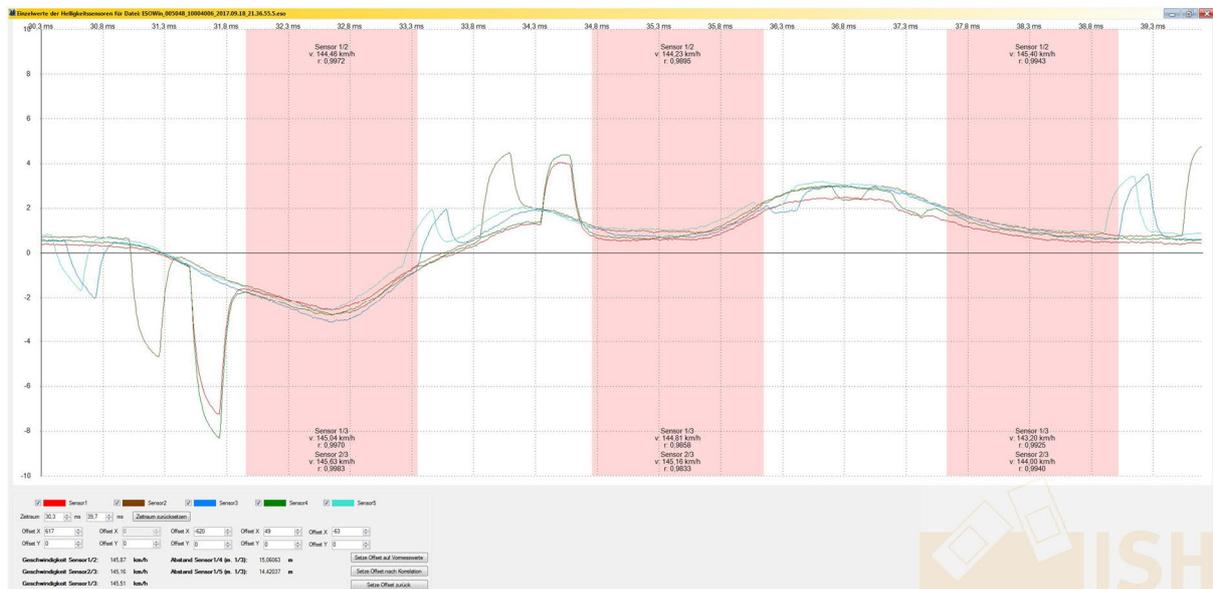


Bild-Nr. 29.: Auf Maximum bei $t = 32,65$ ms korrelierte Signalkurven

Der Seitenabstand beträgt zwischen 14,42 und 15,06 m:

Abstand Sensor1/4 (m. 1/3):	15,06063 m
Abstand Sensor1/5 (m. 1/3):	14,42037 m

Bild-Nr. 30.: Berechnung Seitenabstand

Abschließend gilt es, die rechnerisch ermittelten Ergebnisse mittels fotogrammetrischer Auswertung des Beweisfotos zu verifizieren:



Bild-Nr. 31.: Fotogrammetrie zur Ermittlung des Seitenabstandes

Der fotogrammetrisch ermittelte realistische Seitenabstand von 14,5 m weist gegenüber dem offensichtlich fehlerhaften Messwert des ES3.0 eine Differenz von ca. 3,45 m aus. Diese Differenz liegt deutlich außerhalb der Verkehrsfehlergrenze, die ja mit ± 1 m von der PTB festgelegt ist:



Bild-Nr. 32.: Fotogrammetrie des Seitenabstandes = 14,5 m

Die fotogrammetrische der Auswertung bestätigt den zuvor rechnerisch ermittelten Abstandswert innerhalb der berechneten Grenzen. Damit ist auch erkennbar, dass der vom Messsystem ermittelte Abstandswert nicht stimmen kann.

In diesem Fall wurden die Verkehrsfehlergrenzen sowohl bei der Abstandsmessung als auch bei der Geschwindigkeitsmessung deutlich überschritten.

Die Fehlerquoten der Messungen

Abstand d: 14,5 m zu 17,9 m => $\Delta d = 3,4$ m ; zulässig maximal ± 1 m.

Geschwindigkeit v: 146 km/h zu 158 km/h => $\Delta v = 12$ km/h; zulässig maximal ± 5 km/h ($\pm 3\%$)

Bei der Geschwindigkeitsmessung liegt der Fehler bei ca. 8 % und damit weit außerhalb der gesetzlichen Verkehrsfehlergrenze von 3 % bei Geschwindigkeiten über 100 km/h.

Der Vollständigkeit halber muss erwähnt werden, dass fehlerhafte Messergebnisse auch zu Gunsten einer(s) Betroffenen entstehen können.

Die PTB positioniert sich

Mit den hier vorgestellten Ergebnissen mehrfach verifizierter realistischer Messwerte wurde die PTB konfrontiert und um Beantwortung folgender Fragen gebeten – Bezug nehmend auf die eingangs erwähnte Stellungnahme der PTB vom 15.10.2018¹¹:

- (1) Besteht seitens der PTB weiter die Überzeugung, dass der vorliegende Toleranzabzug vollkommen ausreichend ist und keinem Fahrzeugführer eine höhere Geschwindigkeit vorgeworfen wird, als er/sie tatsächlich gefahren ist?
- (2) Können Sie immer noch sicher ausschließen, dass es unter keinen Umständen zu Fehlmessungen durch LED-Scheinwerfer kommt?
- (3) Wenn Einflüsse durch LED-Scheinwerfer nicht sicher ausgeschlossen werden können, wie sollte dann mit dem betreffenden Messgerät weiter verfahren werden? Grundsätzlich wäre ja die Eichung des konkreten Messgerätes erloschen, da Messwerte außerhalb der Verkehrsfehlergrenze erzeugt wurden. Eine Neueichung wird das Problem jedoch nicht beheben, da es nicht innerhalb des Messgerätes zu suchen ist, sondern der Anwendungsfall einfach nicht mehr passt.
- (4) Sind Messungen bei Nacht weiter zulässig?
- (5) Kann unter allen Umständen weiter von einem standardisierten Messverfahren ausgegangen werden?

Die PTB antwortet am 21.12.2018:

- (1) es wird bestätigt, dass aktuell keine Hinweise vorliegen, dass es sich bei der vorliegenden Messung (Mercedes) um eine Fehlmessung handelt.
- (2) Der überwiegende Teil der auswertbaren Signalbereiche bestätigt den angezeigten Geschwindigkeitsmesswert und Seitenabstand.
- (3) Es wird die Auffassung geteilt, dass ein sehr kleiner Bereich des Signalverlaufs im Bereich der Frontscheinwerfer sehr wohl Rückschlüsse auf abweichende Werte für den Geschwindigkeitsmesswert und den Seitenabstand zulässt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass dieser Bereich aufgrund der zahlreichen im Messalgorithmus

¹¹ <https://doi.org/10.7795/520.20181012>

implementierten Funktionen zur Prüfung und Plausibilisierung nicht in die Geschwindigkeits- und Seitenabstandsermittlung eingeflossen ist. Aufgrund des offensichtlichen Spurwechsels liegt die Vermutung nahe, dass der Fahrer hier den Blinker gesetzt haben könnte und das dies die genannte Auffälligkeit zur Folge hatte.

- (4) Eine abschließende Bewertung ist hingegen nur unter Kenntnis weiterer Parameter wie der genauen Objektivbrennweite und der genauen Angabe des anhand der Fahrgestellnummer oder dem Kfz-Kennzeichen belegten exakten Fahrzeugtyps und der verbauten Ausstattungsmerkmale möglich. Sofern Sie uns hier weitere Daten zur Verfügung stellen können, sind wir gern bereit, weiterführende Betrachtungen anzustellen, da wir natürlich selbst auch an einer abschließenden Bewertung dieser Falldatei interessiert sind.
- (5) Es steht Ihnen darüber hinaus frei, in diesem konkreten Einzelfall beim zuständigen Eichamt eine Befundprüfung nach § 39 MessEG zu beantragen, sofern Sie Zweifel an der korrekten Funktionsweise des verwendeten Messgerätes haben oder aber einen Gerätedefekt vermuten. Bei einer Befundprüfung wird die konkrete Messsituation unter Verwendung des eingesetzten Messgerätes sowie des gemessenen Fahrzeugs noch einmal bis ins Detail nachgestellt.

Die Antworten der PTB auf die gestellten Fragen vermögen nicht zu überzeugen. Keine der aufgeworfenen Fragen wurde zufriedenstellend beantwortet. Die Antworten als solche sind nicht gänzlich falsch, führen aber dennoch in die Irre.

So teilt die PTB mit der Antwort zu (2) mit, dass „der überwiegende Teil der auswertbaren Signalbereiche [...] den angezeigten Geschwindigkeitsmesswert und Seitenabstand bestätigt“. Das stimmt dann, wenn die PTB denselben Fehler macht, wie der ES3.0. Denn es wurden die falschen Peaks (Signalausschläge), nämlich diejenigen, die durch die getakteten LEDs erzeugt worden sind, durch den internen Auswertalgorithmus der ES3.0 zur Ermittlung der Geschwindigkeit herangezogen. Entfernt man diese durch pulsierende LEDs erzeugten Peaks, so bestätigt derselbe(!) ausgewertete Zeitbereich die tatsächlich durch das Fahrzeug gefahrene Geschwindigkeit.

Selbst die PTB teilt mit Antwort (3) mit, dass „ein sehr kleiner Bereich des Signalverlaufs im Bereich der Frontscheinwerfer sehr wohl Rückschlüsse auf abweichende Werte für den Geschwindigkeitsmesswert und den Seitenabstand zulässt“. Dabei handelt es sich aber um den komplett identischen(!) Bereich, den der ES3.0 zur Ermittlung seines falschen Geschwindigkeitswertes heranzieht. Weitere Bereiche, in welchem Geschwindigkeiten mit dem notwendigen Korrelationswert von mindestens 0,92 ermitteln lassen, sind an keiner weiteren Stelle im gesamten Sensorverlauf zu finden. Korrekt wäre zu sagen, dass sich in demselben(!) Zeitbereich unterschiedliche Geschwindigkeiten ermitteln lassen, je nachdem, welche Peaks (Signalausschläge) miteinander korreliert werden. Aus technischer Sicht dürfen dabei aber keinesfalls die Peaks korreliert werden, welche durch getaktete LEDs erzeugt werden. Dies hat vorliegend der ES3.0 aber getan.

Überhaupt nicht nachvollziehbar ist die Antwort der PTB unter (4): Für eine abschließende Bewertung sollen durch die Sachverständigen weitere Informationen zum konkreten Messfall übermittelt werden, so u. a. die Objektivbrennweite, der exakte Fahrzeugtyp und die Ausstattungsmerkmale des dokumentierten Fahrzeuges. Erst wenn der PTB diese Daten vorliegen, würden weiterführende Betrachtungen angestellt.

Die Objektivbrennweite der Kamera, die vorliegend – bedingt durch den Einsatz eines variablen Zoom-Objektives – überhaupt nicht ermittelt werden kann, hat keinerlei Einfluss auf die Messwertbildung. Es genügt offensichtlich nicht, dass Sachverständige die grundsätzliche Problematik von fehlerhaften Messwerten durch Analyse der Signalkurven aufgezeigt und der PTB auch mitgeteilt haben.

Auch die unter (5) gegebene Antwort, man könne eine Befundprüfung beantragen, ist überhaupt nicht zielführend. Keiner der bisher involvierten Sachverständigen hat überhaupt einen Zweifel an der korrekten Funktionsweise des Sensorkopfes des ES3.0 geäußert. Im Gegenteil: Die Sensoren des Messgerätes funktionieren so gut und zuverlässig, dass sogar gepulstes LED-Licht klar und deutlich erkannt und aufgezeichnet wird: Die Sensoren erkennen, was sie erkennen sollen.

Es bedarf also keiner Befundprüfung. Es bedarf einer zwingenden Überarbeitung des Mess- und Auswertalgorithmus, damit pulsierendes LED-Licht keinen Einfluss mehr auf die Messwertbildung nehmen kann.

Das einzig interessante ist an der gegebenen Antwort der Punkt (3), denn hier offenbart die PTB auch eigene gewisse Zweifel: ... sehr kleiner Bereich ..., ... sehr wohl Rückschlüsse auf abweichende Werte ... zulässt, ... naheliegende Vermutungen, ... haben könnte, ... , um dann mit einem Satz alle Zweifel wieder aufzugeben: „Es ist jedoch davon auszugehen, dass ...“. Die PTB sieht demnach auch diejenigen Bereiche in den Signalkurven, die in der Analyse der Sachverständigen zu den korrekten Messergebnissen führen würden, ist aber der Meinung, dass diese - eigentlich korrekten - Signalanteile durch die zahlreichen im Messalgorithmus implementierten Funktionen zur Prüfung und Plausibilisierung korrekterweise nicht in die Geschwindigkeits- und Abstandsmesswertermittlung eingeflossen sind.

Genau das ist das Problem: Der Messalgorithmus interpretiert die Signale der gepulsten LED-Leuchten stärker als die verbleibenden Signale durch das Fahrzeug und kommt so zu fehlerhaften Messungen. Die PTB vermutet, dass die markanten „Haifisch-Finnen“ in den Signalausschlägen nicht durch die LED-Leuchten, sondern durch den gesetzten Blinker des Fahrzeuges kommen. Vermutungen helfen jedoch nicht weiter.

Prof. Dr.-Ing. Ludwig Lebrecht¹² stellt seinem Buch „Betrachtungen zum technischen Sachverständigen“ das Leitwort voran (Zitat):

Es ist die Frage, wie sich verhindern lässt, dass eine Vermutung subjektive Gewissheit und damit Beweis wird, ohne dass objektiv etwas bewiesen ist.

Wir Sachverständige dagegen sind uns sicher: Pulsierendes LED-Licht kann bei dem Einseitensensor ES3.0 die Messung der Geschwindigkeit und/oder des Seitenabstandes so stark beeinflussen, dass Messergebnisse deutlich außerhalb der Verkehrsfehlergrenzen entstehen. Die Kriterien für ein standardisiertes Messverfahren im Sinne des BGH sind nicht mehr erfüllt.

¹² Prof. Dr.-Ing. Ludwig Lebrecht, Darmstadt, „Betrachtungen zum technischen Sachverständigenwesen – eine Studie zur rechten Sachverständigenaussage in Naturwissenschaften und Technik im Blick auf die Rechtsanwendung“, VDE-Verlag GmbH, Berlin, 1974

Die Untersuchungen zeigen, dass es zu Fehlmessungen kommen kann. Wir Sachverständige sehen daher anhand der vorliegenden gesicherten Erkenntnisse über die Messung der Geschwindigkeit von Fahrzeugen mit LED-Leuchten durch das eso-Einseiten-Verfahren sachliche Gründe, an dessen Messrichtigkeit zu zweifeln. Fehlmessungen sind möglich.

- (1) § 7(1), Ziff. 3 MessEV fordert: „Messgeräte müssen gegen Verfälschungen von Messergebnissen geschützt sein.“ LED-Licht von Fahrzeugen kann zu so störenden Lichteffekten führen, dass **Messergebnisse** zum Seitenabstand und zur Geschwindigkeit **verfälscht** werden, ohne dass es vom Messgerät ES3.0 als Fehler oder Störquelle erkannt wird.
- (2) Die „ausgefeilten Annullationskriterien des ES3.0“ verhindern nicht, dass fehlerhafte Messwerte durch LED-Licht entstehen können.
- (3) Fehlerhafte Messergebnisse durch LED-Licht können zum Nachteil eines Betroffenen ausfallen, wenn eine deutlich höhere Geschwindigkeit angezeigt, als tatsächlich gefahren wurde.
- (4) Die Abweichungen der angezeigten Messergebnisse von den tatsächlichen Werten können so groß sein, dass die zulässigen Verkehrsfehlergrenzen bei der Geschwindigkeits- und Seitenabstandsmessung nicht mehr eingehalten werden.
- (5) Der Geschwindigkeitsmesswert kann auch dann fehlerhaft sein, wenn der Seitenabstand „augenscheinlich“ stimmt.

Mathematische Herleitung des zuvor erkannten Effektes

Im Folgenden wird eine Theorie entwickelt, mit der die erkannten Effekte abgedeckt und erklärt werden. Die durchaus nicht triviale Mathematik hinter der Korrelationsrechnung kann an dieser Stelle leider nicht weiter vereinfacht werden. Zumindest ein prinzipielles Verständnis ist allerdings notwendig, um die gezogenen Schlüsse nachvollziehen zu können.

Das Messgerät ES3.0 bzw. dessen Messwertbildung beruht auf der Berechnung einer Korrelation. Diese liefert bei periodischen Eingangssignalen Prinzip bedingt neben einem Hauptmaximum auch mehrere Nebenmaxima, deren Höhe und Anzahl von der Breite des betrachteten Fensters abhängt.

Nachfolgend ist eine Abfolge von 9 Dreieckssignalen mit einer Periodendauer von 20 Abtastschritten abgebildet. Dies soll das regelmäßige Pulsen der LED symbolisieren. Darunter ist die Korrelationsfunktion abgebildet. Man erkennt deutlich, dass sich die Periodendauer von 20 Abtastschritten auch in der Korrelationsfunktion widerspiegelt:

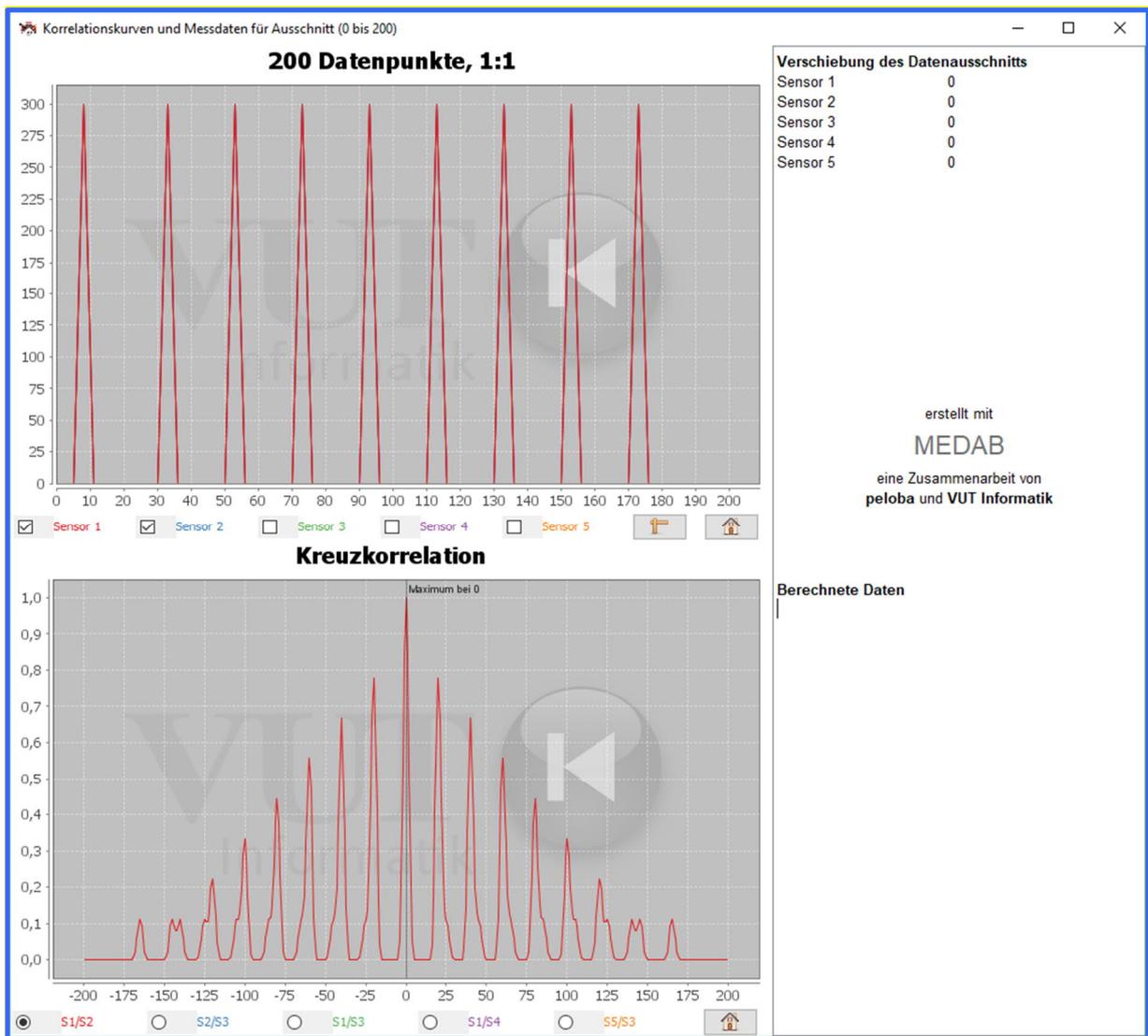


Bild-Nr. 33.: Periodisch auftretende Dreieckssignale (oben), Korrelationsfunktion (unten)

Dies ist selbstverständlich nur ein vereinfachtes Modell, zeigt aber im Weiteren das Problem auf.

Als nächstes wird ein Signal mit einer Signallänge von 11 Schritten (ebenfalls dreiecksförmig) und einer Verschiebung von 43 Abtastschritten getrennt verarbeitet, was das eigentliche Nutzsignal darstellt:

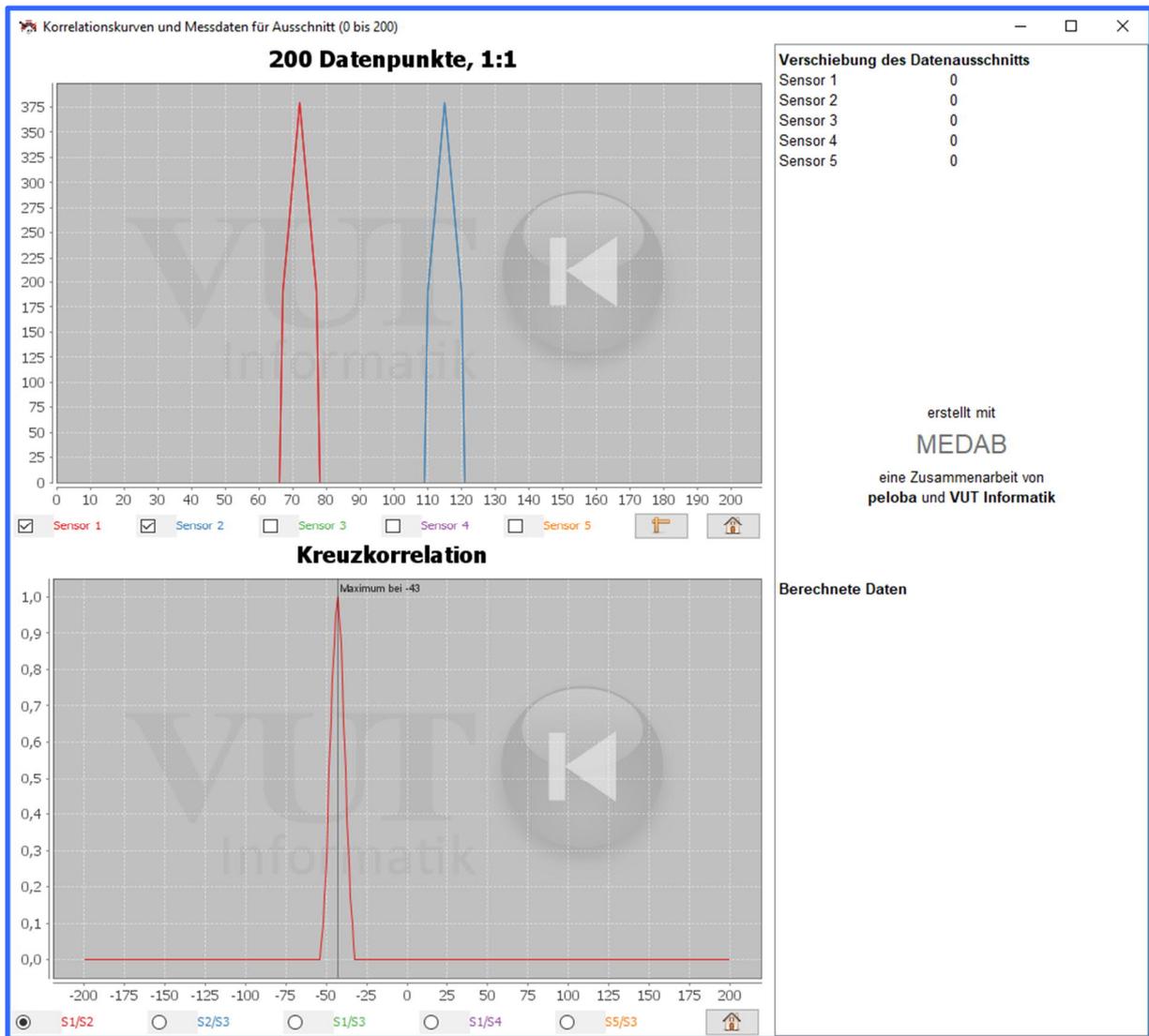


Bild-Nr. 34.: Einzelnes Dreiecksignal (z. B. Fahrzeugdurchfahrt)

Überlagert man die beiden Signale, so ergibt sich statt der Verschiebung von 43 Punkten eine Verschiebung von nur noch 40 Punkten.

Damit ist rechnerisch erwiesen, dass ein pulsformiger Einfluss die Korrelationsrechnung beeinflussen kann:

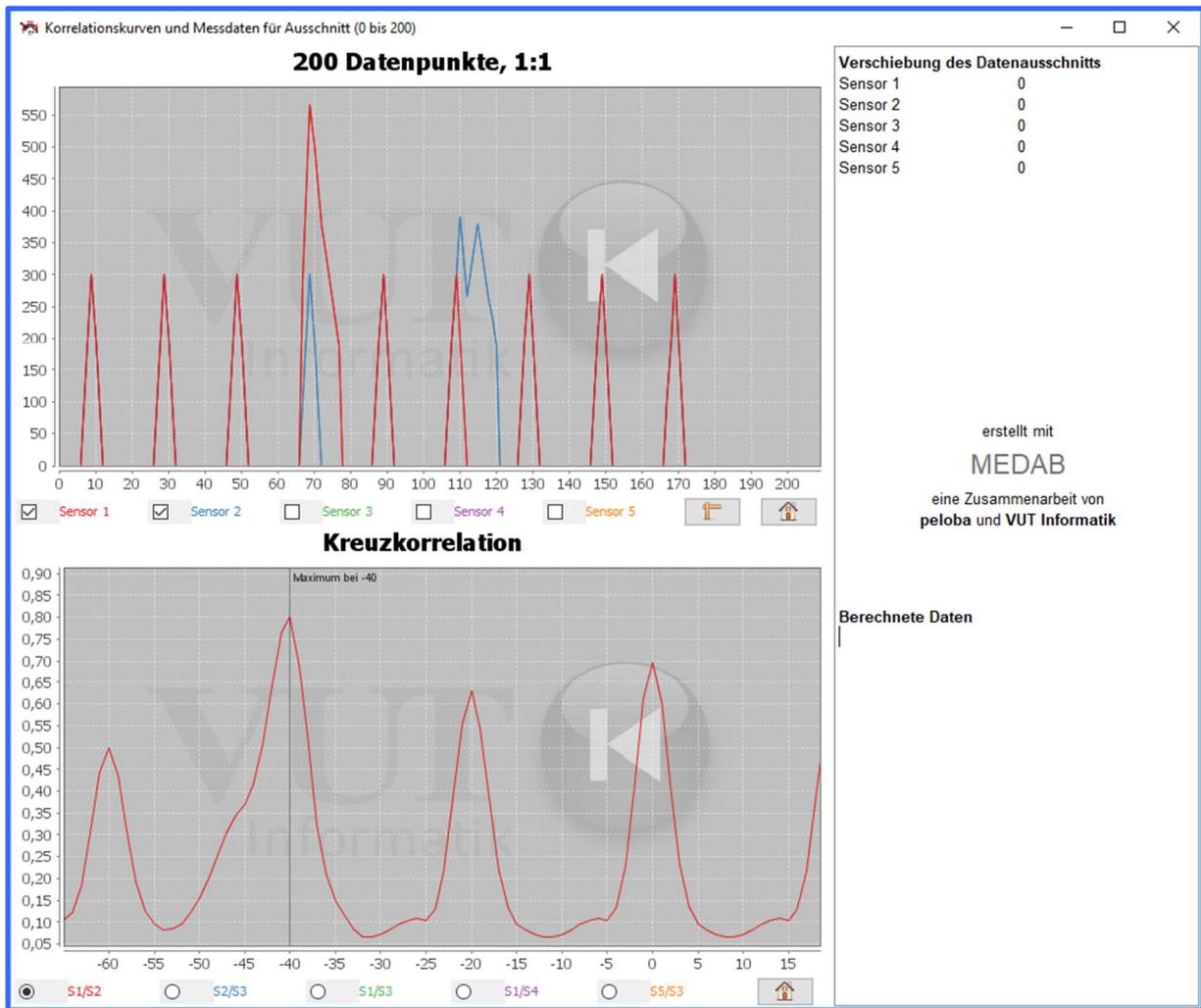


Bild-Nr. 35.: Überlagerung von Nutzsignal und Pulsen

Was bedeutet dies nun für reale Messungen?

In der nachfolgenden Abbildung ist zu erkennen, dass die Periodendauer der LED bei ziemlich exakt 285 Punkten, d. h. 2,85 ms liegt:

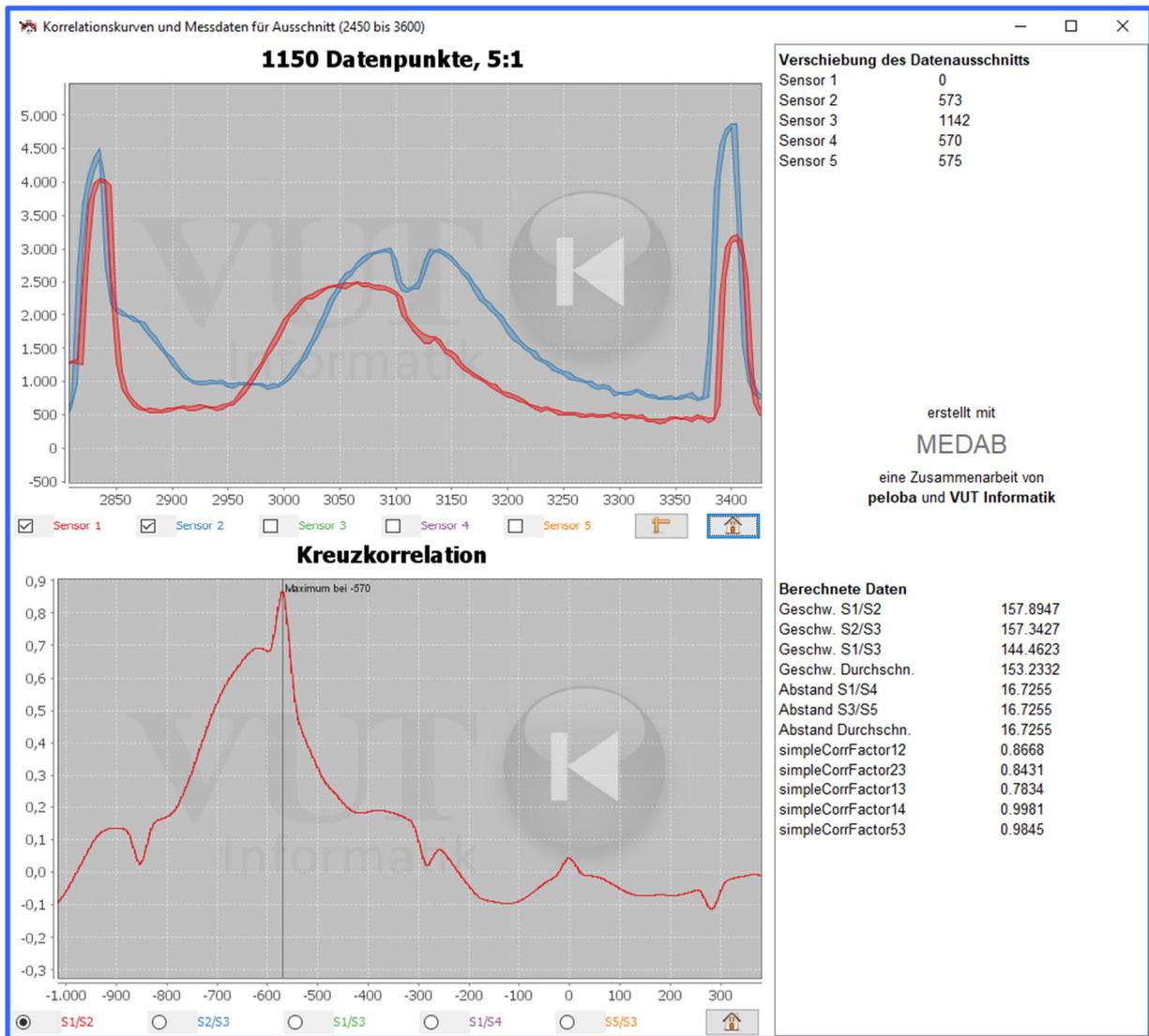


Bild-Nr. 36.: Messsignale von der Front des Mercedes

Betrachtet man nun die Korrelation der Signale im unteren Bild, dann liegt das Maximum der Korrelationsfunktion bei $285 \cdot 2 = 570$ Abtastschritten.

Da nach den vorangehenden Betrachtungen eher von einem korrekten Wert von 617 Abtastschritten auszugehen ist, ergibt sich nur eine realistische Erklärung für die Herkunft des Wertes von 570 Abtastschritten: Es wurde hier nicht die Durchfahrtszeit sondern die doppelte Periodendauer des LED-Takts gemessen.

D. h. unter bestimmten Bedingungen misst das Messgerät ES3.0 nicht die Geschwindigkeit des Fahrzeuges, sondern die der Beleuchtung.

Fazit und Empfehlung der Sachverständigen:

Messungen mit dem ES3.0 können nicht mehr als standardisiertes Messverfahren gelten.

Alle Messungen mit dem Messgerät ES3.0 müssen durch Auswertung der eso-Datei auf entsprechende Auffälligkeiten hin geprüft werden.

Stand: 31.01.2019

Autoren (in alphabetischer Reihenfolge):

Dipl.-Ing. Roland Bladt

Dipl.-Verww. Hans-Peter Grün

Dr. Matthias Grün

Dipl.-Ing. (FH) Matthias Müller

Master of Science Dominik Schäfer

Dipl.-Ing. Ralf Schäfer

Dipl.-Wirt.-Inf. (FH) Sven Schellenberg