

Auswertung der Rohdaten des ES-3.0-Messsystems

Von Tim Hoger *

Bei der Markteinführung des Einseitensensors ES 3.0 standen dem Sachverständigen zur Überprüfung der Messung außer dem Messfoto und der Fotolinie keinerlei Informationen zur Verfügung. In der Folge öffnete sich die Firma ESO aber immer weiter von zunächst teuer und nur in Einzelfällen durchführbarer Überprüfung der Rohdaten, dann über ein Webportal bis gegenwärtig zur freien Exportfunktion der Rohdaten aus der Messdatei. In diesem Beitrag wird ein Verfahren beschrieben, mit dem sich im Nachhinein die Geschwindigkeit und der seitliche Abstand unabhängig von der Auswertung durch das Messsystem sowie dem Fahrzeugtyp des Betroffenen nachvollziehen lässt. Somit liegt eine Spezifität vor, die es ermöglicht, die Messung dem Fahrzeug des Betroffenen eindeutig zuzuordnen oder zu beanstanden.

1 Einleitung

Bei verschiedenen Messsystemen ist die Tendenz zu erkennen, dem Sachverständigen zur Überprüfung einer Messung weitere Details zur Verfügung zu stellen. Unter anderem gilt dies für die Messsysteme Leivtec XV 3, PoliScan Speed ab Version 3.xx und auch für den Einseitensensor ES 3.0 von ESO. Wurden zunächst bei verschiedenen Messsystemen keine Messdaten offengelegt, werden jetzt unter anderem der Messbeginn und das Messende sowie gegebenenfalls die Fotoposition etc. zum Abgleich für den Sachverständigen zur Verfügung gestellt. Eine Ausnahme zu diesem Trend bildet das von der Firma Jenoptik vertriebene Messsystem S350, zu dem bisher dem Sachverständigen keinerlei verwertbare geräteinterne Messdaten an die Hand gegeben werden.

Bei der Markteinführung des Einseitensensors ES 3.0 standen dem Sachverständigen zur Überprüfung der Messung außer der Fotolinie ebenfalls keinerlei Informationen zur Verfügung. In der Folge öffnete sich die Firma ESO aber immer weiter von zunächst teuer und nur in Einzelfällen durchführbarer Überprüfung der Rohdaten, dann über ein Webportal bis gegenwärtig zur

freien Exportfunktion der Rohdaten aus der Messdatei. Seit Einführung der neuen Software „ESO digitales II Vierer“ – Version 22.2.9.39 kann somit bei Vorhandensein einer vollständigen Messserie die korrekte Funktionsweise des Messgerätes vom Sachverständigen durch Analyse der Rohdaten erfolgen. Die Analysemöglichkeiten sollen im Weiteren beschrieben werden.

2 Funktionsweise

Der Einseitensensor besteht – ähnlich wie eine Lichtschranke – aus mehreren helligkeitsempfindlichen Sensoren, siehe **BILD 1**. Während jedoch eine Lichtschranke lediglich das Unterbrechen eines Lichtstrahls nutzt, um in Verbindung mit einer in einem festen Abstand angebrachten zweiten Lichtschranke die Geschwindigkeit zu bestimmen, tastet der Einseitensensor das Helligkeitsprofil des vorbeifahrenden Fahrzeugs ab.

Das Helligkeitsprofil wird mit einer Abtastrate von 100 kHz und einer Speichertiefe von 16 Bit erfasst und gespeichert. Insgesamt werden zur Geschwindigkeitsbestimmung drei (in Bild 1 gelb nummeriert) in einem Abstand von 25 cm angeordnete Sensoren eingesetzt, die jeweilig das gleiche – zumindest das annähernd gleiche – Hellig-



BILD 1: Einseitensensor 3.0

FIGURE 1: ES 3.0 speed trap

keitsprofil aufzeichnen, jedoch zeitlich versetzt. Aus dem zeitlichen Versatz der Helligkeitsverläufe zueinander wird die Geschwindigkeit bestimmt. Aus den schräg stehenden (in Bild 1 rot nummerierten Sensoren 4 und 5) wird der seitliche Abstand berechnet.

Beispielsweise führt ein zeitlicher Versatz von 10 ms (0,01 s) zwischen dem Sensor 1 und 2, die 25 cm voneinander entfernt sind, auf eine Geschwindigkeit von 0,25 m pro 0,01 s, also 25 m/s (90 km/h). Will man die Geschwindigkeit auf rund 0,1 km/h genau bestimmen, ergibt sich hieraus eine erforderliche Mindestabtastrate bei einer Geschwindigkeit von 90 km/h von 90 kHz, woraus sich in etwa die oben angegebene Abtastrate ergibt. Eine deutlich geringere Abtastrate als 100 kHz ist somit für das Messsystem nicht sinnvoll.

Betrachtet man weiter ein Fahrzeug mit einer Geschwindigkeit von rund 90 km/h, so benötigt dieses zum Durchfahren des Sensors bei einer Fahrzeuglänge von rund 5 m eine Zeit von 0,2 s. Bei geringeren Geschwindigkeiten erhöht sich die erforderliche Zeit proportional.

3 Geschwindigkeitsauswertung aus den Gesamtrohdaten

In **BILD 2** sind die Sensorverläufe der Sensoren 1 (rot dargestellt) und 2 (gelb dargestellt) einer Messung bei Helligkeit gezeigt. Der erste Extremwert kennzeichnet den Beginn des Fahrzeugs, der letzte das Ende des Fahrzeugs. Aus der erforderlichen zeitlichen Verschiebung der Extrempunkte der Sensorverläufe zueinander kann die Geschwindigkeit bestimmt werden. Es bietet sich an, die Kurve 1 in Richtung der Kurve des Sensors 2 zu verschieben.

In den digital vorhandenen Messwerten kann jetzt abgezählt werden, wie viele Kanäle einer zeitlichen Breite von $1:100 \text{ kHz} = 10 \mu\text{s}$ benötigt werden, damit die Kurven zur Deckung gebracht werden. Da diese Kurven jedoch nicht gleich, sondern nur ähnlich sind, wird ein mathematisches Verfahren benötigt, das diese „Überdeckung“ mathematisch fasst. Die entsprechen-

de mathematische Funktion nennt sich „Kreuzkorrelation“ und berechnet prinzipiell die Differenz zwischen den beiden Signalen, wobei eine möglichst kleine Differenz zu einem Maximum und eine große Differenz zu einem Minimum führen.

In **BILD 3** ist die Kreuzkorrelationsfunktion der Sensorsignale 1 und 2 dargestellt. Dort wo die Funktion (etwa in der Mitte) ein Maximum aufweist, ist die Differenz zwischen den Kurven am kleinsten, der Kreuzkorrelationskoeffizient erreicht ein Maximum. An dieser Stelle wurden die Signale bestmöglich zur Deckung gebracht. Werden jetzt die erforderlichen Kanäle bestimmt, um die das Sensorsignal 1 verschoben werden muss (im vorliegenden Fall $30.899 - 29.813 = 1086$), kann daraus in Verbindung mit der Entfernung zwischen den Sensoren die Geschwindigkeit bestimmt werden.

BILD 4 zeigt das um 1086 Kanäle verschobene Signal 1 relativ zum Signal 2. Die Kurven sind nahezu deckungsgleich. Die Geschwindigkeit wird nicht nur einmal zwischen dem Sensor 1 und

2, sondern insgesamt dreimal, also zwischen den Sensoren 1 und 2, 2 und 3 sowie 1 und 3 bestimmt. Bei der letzteren Geschwindigkeitsbestimmung ist die zu berücksichtigende Strecke natürlich doppelt so groß, also 50 cm.

Bisher unklar war, wie die vorgeworfene Geschwindigkeit im Messgerät berechnet wird. Möglich wäre beispielsweise den Mittelwert der Geschwindigkeiten zur Messwertbildung heranzuziehen oder den Minimalwert der drei Messungen. Möglich wäre auch, dass der zuvor bestimmte Kreuzkorrelationskoeffizient benutzt wird, die wahrscheinlichste Geschwindigkeit zu bestimmen und die anderen Messwerte lediglich zur Verifizierung eingesetzt werden.

4 Seitlicher Abstand

Eine Besonderheit stellen die Sensoren 4 und 5 dar, die nicht parallel zu den Sensoren 1, 2 und 3 verlaufen, sondern unter einem Winkel von etwa $0,4^\circ$ auf den Sensor 2 zugeneigt sind. Bei einem Abstand von 12,5 cm zu dem Sensor

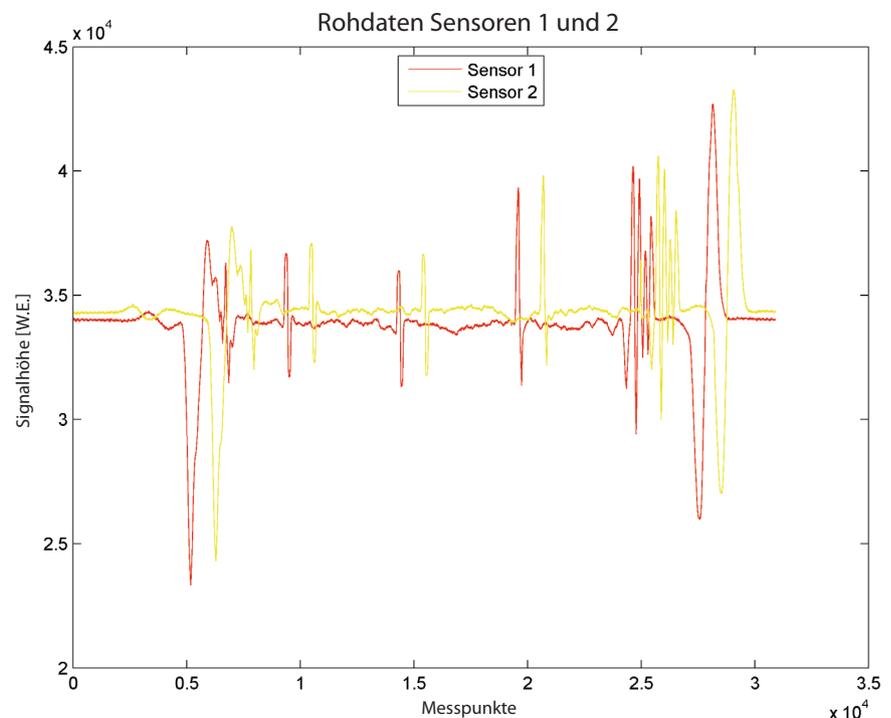


BILD 2: Sensorsignale einer Fahrzeugabastung der Sensoren 1 und 2

FIGURE 2: Signals from a vehicle scan by sensors 1 and 2

folgt, dass sich nach einer Strecke von etwa 18 m, die Erfassungsbereiche der Sensoren 4 und 5 mit dem Erfassungsbereich des Sensors 2 kreuzen. Bestimmt man mittels Kreuzkorrelationsfunktion den zeitlichen Abstand zwischen dem schräg gestellten Sensor 4 und dem Sensor 2 (oder redundant dazu mit dem schräg gestellten Sensor 5 zu dem Sensor 2), kann damit der Abstand des Fahrzeugs zum Messgerät bestimmt werden. Der Hersteller gibt eine Toleranz von rund 1 m in der Abstandsbestimmung an.

5 Geschwindigkeitsauswertung aus den Rohdaten im Frontbereich

Mit dem vorgenannten Verfahren der Kreuzkorrelationsrechnung der Rohdaten des gesamten Fahrzeugs lässt sich bereits ein Großteil der Messungen auswerten. Werden jedoch die Räder von den Sensoren erfasst, führt dies regelmäßig zu erheblichen Abweichungen von mehreren km/h zum eingeblendeten Messwert. Das ist technisch sofort zu verstehen, da sich die Speichen der Räder mit einer anderen Geschwindigkeit bewegen als das Fahrzeug selbst. Es muss also in der Kreuzkorrelationsfunktion ein Mechanismus eingebaut werden, der es erlaubt, die Räder unberücksichtigt zu lassen.

Zur Bestimmung der Geschwindigkeit wird hierzu lediglich die Fahrzeugfront beziehungsweise das Fahrzeugheck mit einer Länge von jeweils 60 cm kreuzkorreliert. Eine bestimmte Strecke auf dem Fahrzeug ist aus den Signalverläufen zunächst nicht abzuleiten, kann jedoch mithilfe der zuvor bestimmten Kreuzkorrelationsfunktion der Gesamtkurve (näherungsweise) aus der Geschwindigkeit berechnet werden. Bewegt sich ein Fahrzeug mit einer Geschwindigkeit von 90 km/h (25 m/s), führt dies zu einer zu berücksichtigenden Zeit **GLEICHUNG 1**.

Dieser Ausschnitt aus den Sensorsignalen wird erneut kreuzkorreliert und daraus, wie oben ausgeführt, die Geschwindigkeit bestimmt, **BILD 5**.

Das **BILD 6** zeigt die überlagerten Signalverläufe der Sensoren 1 und 2. Das gleiche Verfahren wird im Heckbereich angewendet. Insgesamt ergeben sich

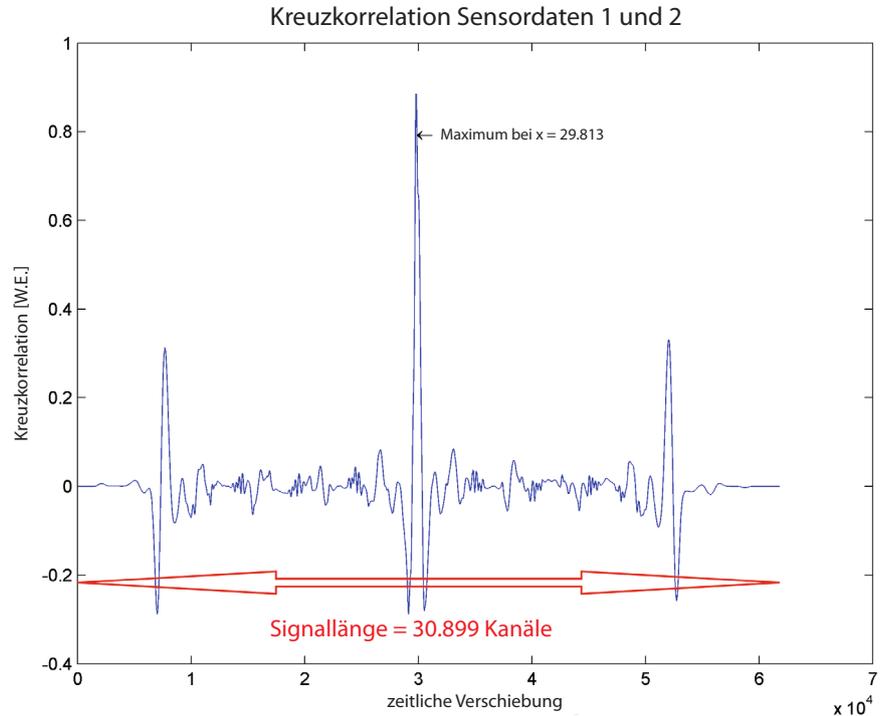


BILD 3: Kreuzkorrelation der Signale 1 und 2

FIGURE 3: Cross-correlation of signals 1 and 2

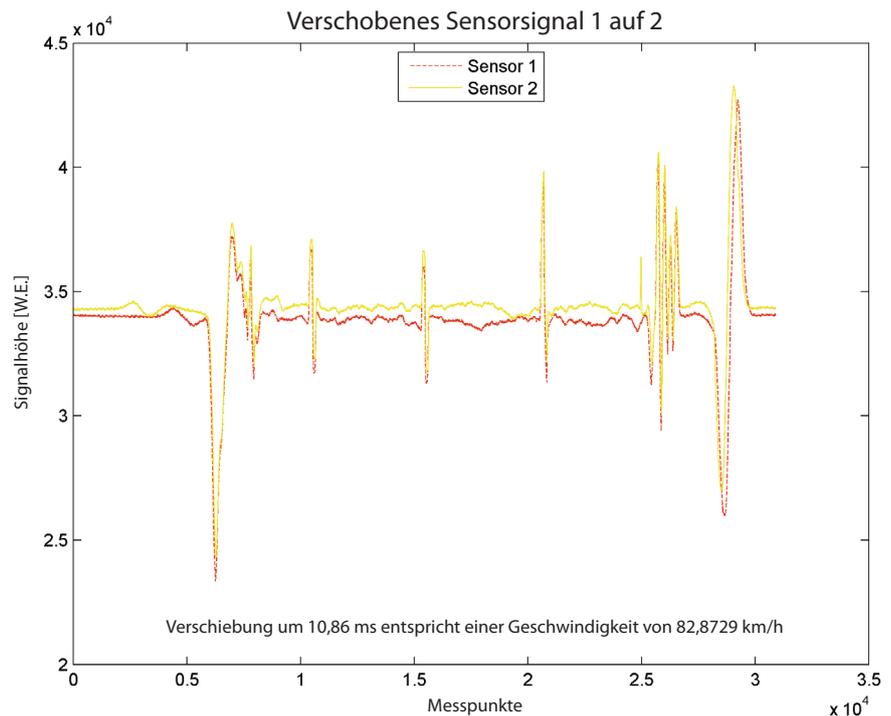


BILD 4: Signale 1 und 2 zur Deckung gebracht

FIGURE 4: Signals 1 and 2 aligned

dann neun Geschwindigkeiten:

- drei aus den Kreuzkorrelationsfunktionen der Gesamtkurven,

- drei aus den Kreuzkorrelationskurven der Fahrzeugfront zu Messbeginn und

- drei aus den Kreuzkorrelationskurven am Fahrzeugheck am Messende.

Vergleicht man die errechnete Geschwindigkeit von 81,5 km/h mit der Geschwindigkeit, die sich aus der Kreuzkorrelation des Gesamtverlaufs in Bild 4 (82,9 km/h) errechnet, so ergibt sich eine Differenz in der Geschwindigkeitsbestimmung von rund 1,5 km/h.

In dem Fall, dass das Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit an dem Sensorkopf vorbeifährt und die Räder nicht erfasst werden, sollten alle drei Verfahren zum gleichen Ergebnis führen. Werden zusätzlich die Räder erfasst, kann die Kreuzkorrelationskurve des Gesamtsignals erheblich von der tatsächlichen Geschwindigkeit abweichen. Eine Abweichung um einige km/h – je nach Geschwindigkeitsbereich – kann auch durch Bremsen oder Beschleunigen zwischen der Messung an der Fahrzeugfront und an dem Fahrzeugheck entstehen.

Die Auswertung von rund 1500 Messungen aus verschiedenen Messserien hat ergeben, dass sich die vorgeworfene Geschwindigkeit im Messgerät im Allgemeinen dann ergibt, wenn die drei Geschwindigkeitswerte der Front gemittelt und im Anschluss abgerundet werden. Inwieweit zusätzlich eine Überprüfung mithilfe des Endbereiches erfolgt, ist noch nicht abschließend geklärt.

Trägt man die durch die eigene Auswertung auf diese Weise gewonnene Geschwindigkeit gegen die durch das Messgerät bestimmte Geschwindigkeit in einem Diagramm auf, ergibt sich eine Darstellung nach **BILD 7**. Insgesamt wurden in dieser Messserie rund 500 Messungen ausgewertet. Alle Messungen liegen innerhalb des Toleranzbereiches von ± 3 km/h. Einige Messungen (etwa 5) konnten von dem oben beschriebenen Algorithmus nicht berechnet werden, da Störungen des Signals durch andere Fahrzeuge vorlagen, siehe **BILD 8**. In **BILD 9** ist das zugehörige Messfoto dargestellt, auf dem das störende Fahrzeug noch sichtbar ist.

In diesen Fällen führt die Auswertung zum Messbeginn oder -ende zu abweichenden Geschwindigkeiten, die von der eigenen Auswertung zwar er-

$$t = \frac{s}{v} = \frac{0,6 \text{ m}}{90 \text{ km/h}} = 24 \text{ ms} \sim 2400 \text{ Kanäle}$$

Gl. (1)

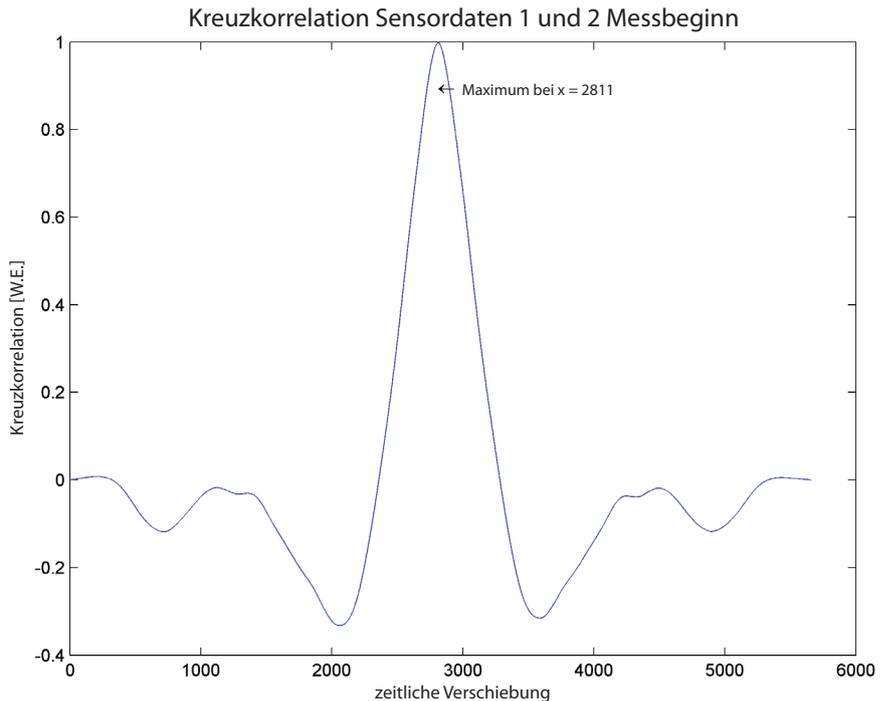


BILD 5: Kreuzkorrelation der Signale 1 und 2 im Frontbereich

FIGURE 5: Cross-correlation of signals 1 and 2 in the front-end area

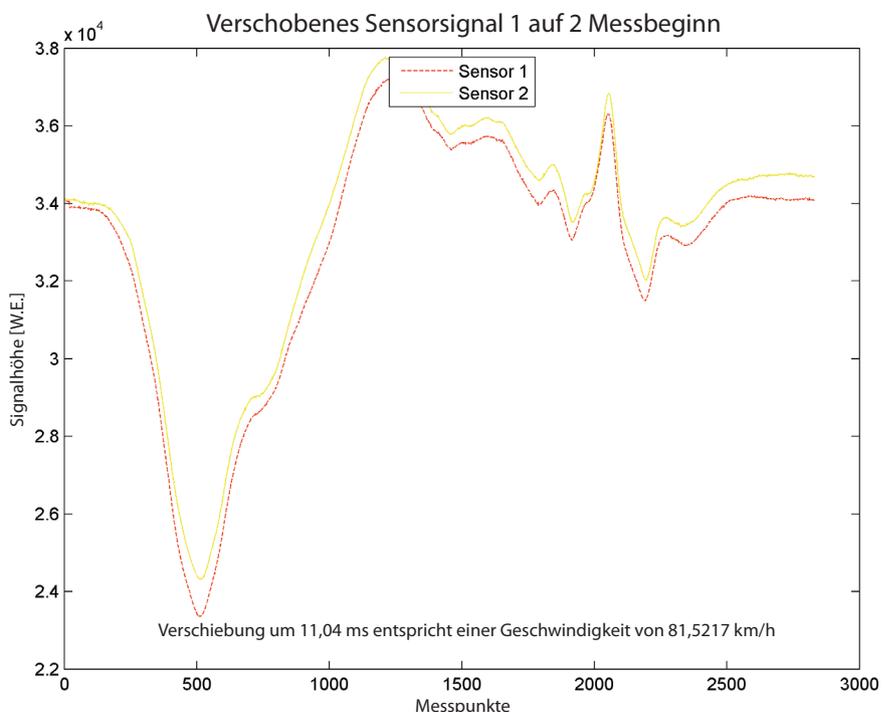


BILD 6: Signale 1 und 2 (Messbeginn) zur Deckung gebracht

FIGURE 6: Signals 1 and 2 aligned (start of measurement)

kannt und aussortiert, aber nicht automatisch berechnet werden. Betrachtet man in diesen Fällen die Kreuzkorrelation des Messgerätes, so ist hier eine gute Übereinstimmung trotz der Sensor-signalabweichungen am Messbeginn oder -ende festzustellen. Mithin arbeitet das System auch bei abweichenden Signalen zuverlässig.

Trägt man im Anschluss die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen der eigenen Auswertung und der Auswertung des Messgerätes in einem Häufigkeitsdiagramm auf, ergibt sich eine Darstellung nach BILD 10. Die Abweichung zwischen den Auswertungen wurde durch eine Gaußkurve angepasst. Die Gaußkurve ist symmetrisch um 0 verteilt, sodass sich das oben aufgeführte Verfahren als statistisch richtig erweist. Abweichungen von bis zu 1 km/h sind durch kleine Abweichungen in der Kreuzkorrelationsfunktion zu erklären, wie sie zum Beispiel aus der zu berücksichtigenden Kreuzkorrelationsstrecke (in der vorliegenden Berechnung 60 cm) resultieren können. Vereinzelt können sich hier auch Geschwindigkeitsdifferenzen von 2 km/h ergeben. Eine Differenz von 3 km/h wird in der vorliegenden Messserie nur in drei Fällen beobachtet, die hier auch durch Störung der Messsignale zu erklären sind.

6 Identifikation des Fahrzeugtyps

Häufig wird von den Betroffenen-Vertretern eingewendet, dass nicht das Fahrzeug selber, sondern ein Schatten oder Ähnliches gemessen wurde. Da



BILD 9: Messfoto zum gestörten Signal in Bild 8

FIGURE 9: Photo to signal interference in figure 8

jetzt die Rohdaten vorliegen, lassen sich auch fahrzeugspezifische Details aus den Messungen erkennen. Aus dem Messfoto ist im Allgemeinen der Fahrzeugtyp des Betroffenen bekannt. Da der Signalverlauf aus den Rohdaten ebenfalls bekannt ist und mit dem oben aufgeführten Verfahren die Geschwindigkeit bestimmt wurde, kann aus dem zeitlichen Verlauf der Sensorsignale

beim Abtasten des Fahrzeugs auch die räumliche Länge mithilfe der zuvor bestimmten Geschwindigkeit bestimmt werden.

Überlagert man die auf eine Strecke skalierten Sensorsignale mit einem Fahrzeugmodell, lassen sich die fahrzeugspezifischen Strukturen herausarbeiten: Im Allgemeinen sind Fahrzeugbeginn und -ende sowie teilweise

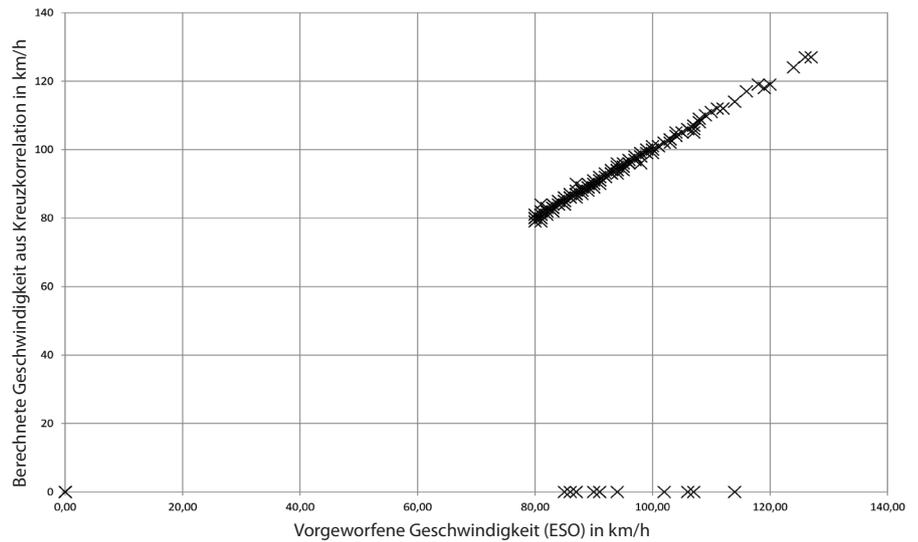


BILD 7: Vergleich der berechneten Geschwindigkeiten

FIGURE 7: Comparison of the calculated speeds

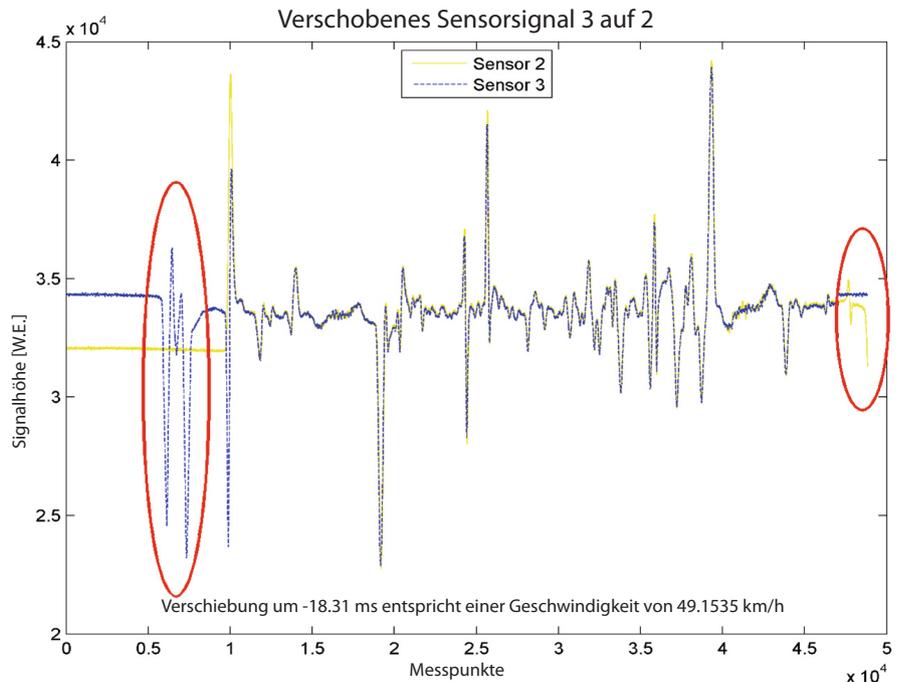


BILD 8: Gestörtes Signal durch anderes Fahrzeug

FIGURE 8: Signal interference from another vehicle

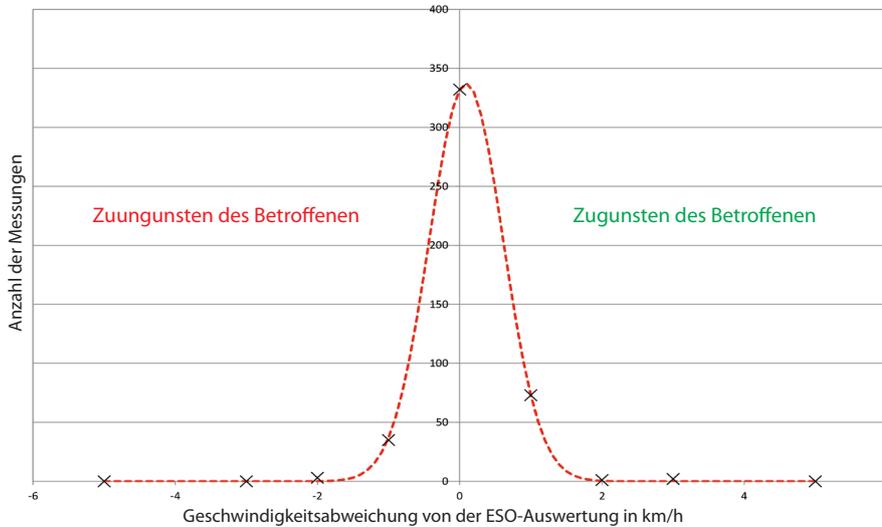


BILD 10: Häufigkeitsverteilung der Abweichungen

FIGURE 10: Frequency distribution of the deviations

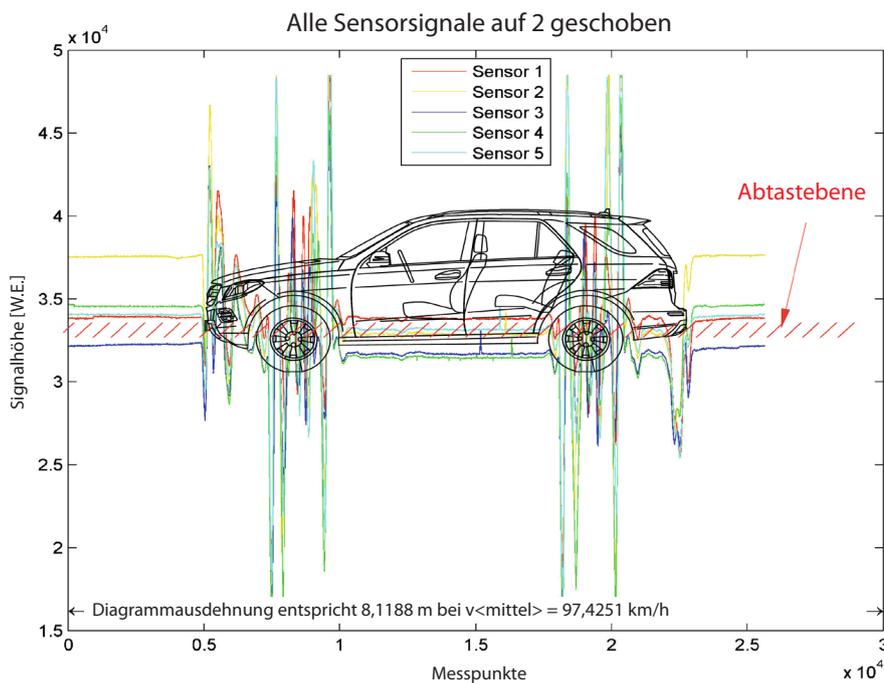


BILD 11: Überlagerung des Fahrzeugmodells mit den Sensorsignalen

FIGURE 11: Overlaying the vehicle model with the sensor signals

Evaluating the raw data from the ES 3.0 measurement system

When the ES 3.0 speed trap was first launched on the market, no information was made available to allow experts to verify the measurements except the photo line. Subsequently, ESO, the company that manufactures the product, began providing evaluations of the raw data. Initially these were expensive and could only be carried out in individual cases. The next stage was a web portal and now there is a function for exporting the raw data from the measurement file free of charge. This article describes a procedure which can be used to determine the speed, lateral distance and type of vehicle retrospectively, regardless of the measurement system. The information is sufficiently specific that a definitive conclusion can be drawn about whether or not the measurement relates to the vehicle in question.

* Autor

Dipl.-Phys. Dr. rer. nat. Tim Hoyer ist ö. b. u. v. Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle im Ingenieurbüro Schimmelpfennig + Becke GbR in Münster. ::