

Stellungnahme der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) zur Frage, ob bei Laserscannern der PoliScan-Familie, mit denen aus einem stehenden Messfahrzeug heraus gemessen wird, das Ein- und Aussteigen oder Bewegungen des Messpersonals im Messfahrzeug zu Falschmessungen führen können¹

Seit Ende 2015 werden von Betroffenen, bei denen mit einem Laserscanner der PoliScan-Familie aus einem stehenden Fahrzeug heraus eine Geschwindigkeitsübertretung gemessen wurde, beim Gericht Zweifel an der Messrichtigkeit geweckt. Es wird seitens der Betroffenen argumentiert, dass das leichte Wackeln des Fahrzeugs, wenn das Messpersonal in das Messfahrzeug ein- und aussteigt oder sich im Fahrzeug bewegt, nicht den zugelassenen Messbedingungen entspreche. Fehlmessungen seien daher nicht auszuschließen. Die aus den Zweifeln des Gerichts resultierenden Freisprüche wiederum verunsichern die Ordnungsbehörden, ob PoliScan-Messungen aus einem stehenden Fahrzeug heraus noch Sinn ergeben.

Diese Zweifel sind aus technischer Sicht unbegründet. Bei den technischen Prüfungen im Rahmen des Zulassungsverfahrens wurden Untersuchungen zum Einfluss von Änderungen der Aufstellwinkel auf die Messrichtigkeit von PoliScan-Geräten durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass Fehlmessungen durch diese kleinen Bewegungen auszuschließen sind. Allenfalls kann es zu einer erhöhten Annullierungsrate kommen, durch die den Betroffenen aber keine Nachteile entstehen. Die PTB-Prüfungen wurden kürzlich durch eine unabhängige Untersuchung im Rahmen einer Doktorarbeit der Technischen Universität München erweitert und bestätigt. Außerdem kann jeder selber leicht überprüfen, dass die Lageänderungen eines Fahrzeugs selbst bei sehr „kräftigem“ Messpersonal unerheblich klein sind. Dies wird in einem Anhang dieser Stellungnahme mit einem ganz einfachen Experiment demonstriert.

Allgemeines zur Funktionsweise der Geräte der PoliScan-Familie

In Geräten der PoliScan-Familie wird das sogenannte LIDAR-Prinzip genutzt. Das Gerät sendet in kurzer zeitlicher Abfolge Laserpulse aus, die vom zu messenden Fahrzeug reflektiert werden und zurück ins Messgerät gelangen. Über die Laufzeit der Lichtsignale wird die Entfernung des zu messenden Fahrzeugs bestimmt. Wegen der hohen Wiederholrate der Messung kann aus der

¹ Zitiervorschlag für die Quellenangabe:

Stellungnahme der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) zur Frage, ob bei Laserscannern der PoliScan-Familie, mit denen aus einem stehenden Messfahrzeug heraus gemessen wird, das Ein- und Aussteigen oder Bewegungen des Messpersonals im Messfahrzeug zu Falschmessungen führen können. Stand: 2. Juni 2016 / Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin. DOI: 10.7795/520.20160913B

Entfernungsänderung pro Zeit die gefahrene Geschwindigkeit des Messobjektes bestimmt werden; dabei werden typischerweise während der Durchfahrt eines Fahrzeugs mehrere Hundert Einzelmessungen gemacht. Um die komplette Fahrbahn erfassen zu können, wird die Richtung des Laserstrahls durch Reflexion an einem im Gerät schnell rotierenden Spiegel mit hoher Rate quer zur Fahrbahn verändert, die Fahrbahn also von einer Seite zur anderen abgetastet.

Entscheidend für die Bildung eines Geschwindigkeitswertes ist demnach die Laufzeit der Lichtpulse vom Messgerät zum Fahrzeug und zurück. Dass die Einflüsse der Fahrzeuggeometrie (sogenannte Stufen- und Abgleiteneffekte) dabei zu keiner unzulässigen Beeinflussung führen, belegen die zahlreichen Untersuchungen im Rahmen der Bauartzulassungsprüfungen. Hierzu zählen auch die Ergebnisse unserer Vergleichsmessungen, die im realen Straßenverkehr mit einem Stichprobenumfang von mehr als 20.000 Fahrzeugdurchfahrten durchgeführt wurden. In keinem einzigen Fall konnte eine unzulässige Beeinflussung beobachtet werden.

Empfindlichkeit auf Änderungen des Aufstellwinkels

In der Gebrauchsanweisung der PoliScan-Geräte wird beschrieben, wie das Gerät vor der Inbetriebnahme aufzustellen ist und wie die Korrektheit der Aufstellung zu überprüfen ist. Im vorliegenden Zusammenhang sind davon nur die Vorgaben über die winkelmäßige Ausrichtung des Gerätes von Interesse. Diese muss nach Anleitung an jedem Aufstellort vor Aufnahme des Messbetriebes erfolgen.

Im Rahmen der Zulassungsprüfungen hat die PTB untersucht, wie sich Änderungen des Aufstellwinkels (Nick- und Gierwinkel²) auf die Messrichtigkeit auswirken. Es wurden Verstellungen bis zu 1,25 Grad untersucht und dabei keine einzige Fehlmessung festgestellt. Allerdings kam es aus geometrischen Gründen zu einer erhöhten Annullationsrate (z. B. wenn bei großem Nickwinkel nach unten der abtastende Laserstrahl teilweise die zu messenden Fahrzeuge gar nicht mehr erreicht).

Dieses Ergebnis wurde unabhängig von der PTB im Rahmen einer Doktorarbeit am Institut für Ergonomie der Technischen Universität München überprüft und auf einen größeren Winkelbereich (–2,5 bis +2,0 Grad) ausgeweitet.³ Hinzu kamen Untersuchungen zum Einfluss des Rollwinkels. Dabei wurde ein gültig geeichtes Seriengerät PoliScan M1 HP im Besitz der TU München unter verschiedenen, stark von der Gebrauchsanweisung abweichenden Aufstellbedingungen am Rand der Referenzstrecke der PTB aufgestellt. Versuchsplanung, -durchführung und -auswertung erfolgten dabei in alleiniger Regie der TU München. Die PTB hat lediglich die zeitgleich aufgenommenen Messwerte ihrer Referenzanlage zur Verfügung gestellt. In umfangreichen Versuchsreihen mit

² Man unterscheidet Nick-, Gier- und Rollwinkel, die man sich durch die Analogie mit einem menschlichen Kopf vorstellen kann. Dabei entspricht die mittlere Ausstrahlrichtung des PoliScan-Laserstrahls der menschlichen Blickrichtung. Der Nickwinkel (auch Neigungswinkel genannt) entspricht, wie der Name schon sagt, dem Auf- und Abnicken des Kopfes. Der Gierwinkel (auch Schwenkwinkel genannt) entspricht dem Drehen des Kopfes von rechts nach links. Der Rollwinkel beschreibt die Bewegungsrichtung, wenn man den Kopf auf die eigene Schulter kippt.

³ S. Smykowski, K. Bengler, F. Märtens, F. Blume, J. Kupper, „Geschwindigkeitsmessung mit dem PoliScan und ihre Abhängigkeit von der Mensch-Maschine-Interaktion“, Deutsches Autorecht, im Druck (2016). Diese Publikation fasst die wesentlichen Ergebnisse zusammen. Die eigentliche Doktorarbeit ist noch nicht veröffentlicht.

verschiedensten Winkelverstellungen konnte nicht ein einziger Fall gefunden werden, in dem es zu einer Fehlmessung kam. Auch die Streuung der Messwerte innerhalb der Verkehrsfehlergrenzen war noch so gering, dass selbst bei diesen bewusst ungünstigen Aufstellungen die Zulassungskriterien immer noch erfüllt waren. Bei großen Winkelverstellungen wurden lediglich die zu messenden Fahrzeuge nicht immer über den gesamten erforderlichen Messweg erfasst, einfach weil aus geometrischen Gründen der Strahl zeitweise am Fahrzeug vorbei, über es hinweg oder in die Fahrbahn hinein zeigte, sodass das Gerät die Messung automatisch annulliert hat.

Das bedeutet, dass es keinen Anlass gibt, an der Messrichtigkeit der PoliScan-Geräte zu zweifeln, solange die Aufstellbedingungen nicht um mehr als 2 Grad von den nach Gebrauchsanweisung einzustellenden Winkeln abweichen.

Messung des Nickwinkels: Ein Smartphone reicht schon!

Um die von Betroffenen vor Gericht geäußerte Vermutung zu bewerten, dass sich durch Masseverlagerungen im Fahrzeug der Aufstellwinkel relativ zur Fahrbahn so stark ändern könnte, dass es zu Fehlmessungen kommt, muss also lediglich untersucht werden, ob es dadurch zu Winkeländerungen von mehr als 2 Grad kommen kann. Mit einem simplen Smartphone und einer Wasserwaagen-App lässt sich leicht nachprüfen, dass die Kippwinkel eines Autos beim Ein- und Aussteigen deutlich kleiner als die 2-Grad-Grenze sind. Dies hat die PTB einmal in einer „Fotostrecke“ zusammengestellt, die sich im Anhang dieser Stellungnahme findet.

Dort wird das Ergebnis der Smartphone-Messung zu Illustrationszwecken auch mit der hochgenauen Messung eines High-End-Navigationsgerätes verglichen, welches über hochpräzise Neigungssensoren verfügt. Es zeigt sich dabei, dass die Smartphone-Messung allein schon ausgereicht hätte, die vor Gericht geäußerten Zweifel auszuräumen.

Rechnerische Abschätzung des Nickwinkels

Wer es lieber rechnerisch mag, kann durch eine einfache Abschätzung leicht zeigen, dass die Kippwinkel im realen Auto erheblich kleiner als 2 Grad bleiben. Dazu benötigt man lediglich Schulmathematik (die „Tangens“-Winkelfunktion aus der Geometrie) und Schulphysik (das Hookesche Gesetz über Schraubenfedern aus der Mechanik). Die eingesetzten Zahlenwerte sind zwar keine mit großer Genauigkeit gemessenen Werte, aber das Ergebnis zeigt, dass selbst eine Fehlabschätzung dieser Eingangsdaten um Faktoren von zwei oder mehr keinen Unterschied in der Frage eines möglichen Messfehlers macht. Um interessengetriebenen Einwendungen hierzu gleich entgegenzutreten: Das fundierte Abschätzen von Einflussgrößen ist eine übliche Technik im Arsenal wissenschaftlicher Methoden; sie ist dort besonders nützlich, wo eine detailgenaue Untersuchung für die Beantwortung der eigentlichen Fragestellung nicht erforderlich und damit überflüssig ist – und dies ist hier der Fall, wie man im Folgenden sieht.

Wenn der „kräftige Messbeamte“, hier mit einer Masse von 140 kg angesetzt, auf dem Fahrer- oder Beifahrersitz sitzt, drückt seine Gewichtskraft die Federung des Wagens zusammen, sodass dieser absinkt und dabei leicht verkippt. Wenn wir für die Rechnung annehmen, dass das Messfahrzeug ein

VW Caddy ist und der Fahrersitz sowohl in vorne-hinten-Richtung als auch in rechts-links-Richtung jeweils mittig zwischen Fahrzeugmitte und Radaufhängung angebracht ist, wird bei einer typischen Federkonstante von 25 kN/m pro Rad das Fahrzeug und damit das darin verankerte Messgerät um nur 0,5 Grad nach links gerollt und um 0,26 Grad nach vorne gekippt. Wenn der Messbeamte rechnerisch neben dem Messgerät, also oberhalb der Hinterachse, sitzt, ergibt sich bei gleichem Rollwinkel ein Nickwinkel von $-0,5$ Grad. Das ist viel kleiner als die 1,25 Grad Nickwinkel, bis zu der die Zulassungsprüfungen durchgeführt wurden, von den mehr als 2 Grad, die im Rahmen der Doktorarbeit untersucht wurden, ganz zu schweigen. Es besteht also ein erheblicher Sicherheitsfaktor.

Eine Beeinträchtigung der Messrichtigkeit ist durch den sitzenden „kräftigen Messbeamten“ somit nicht gegeben.

Eine Bemerkung sei in diesem Zusammenhang noch gemacht. Auch wenn es keine flächendeckenden messtechnischen Prüfungen für Winkelverstellungen von mehr als 2 Grad gibt, sieht die PTB keinerlei Anlass, bei diesen noch größeren Winkeln Fehlmessungen zu befürchten; dies haben zudem punktuelle Prüfungen gezeigt, siehe untenstehende Abbildung. Im Gegenteil, wenn die Winkelverstellungen größer würden, würde die Annullierungsrate so stark ansteigen, dass die Messbeamten wohl der Ursache nachgehen und Fehljustierungen entdecken und korrigieren würden.



Abbildung: Eine messtechnische Prüfung eines Laserscanner-Geräts eines anderen Herstellers mit einem Rollwinkel von 3,5 Grad. Die beiden Fotos zeigen, dass eine Schrägstellung schon von wenigen Grad unmittelbar ins Auge fällt (links für die Aufstellung des Gerätes selber, rechts für das Messfoto, wo der Auswerterahmen gegen das Fahrzeug sichtbar verkippt ist). Es ist daher davon auszugehen, dass in der Praxis selbst solche vergleichsweise kleinen Winkel nicht vorkommen, weil die Schiefstellung dem Messpersonal auffallen würde.

Könnte das Wackeln während des Anmessens eines Fahrzeuges Fehlmessungen verursachen?

Wie im vorigen Abschnitt gezeigt, spielen statische Veränderungen des effektiven Aufstellwinkels, also nachdem das Fahrzeug nach dem Hinsetzen des „kräftigen Messbeamten“ zur Ruhe gekommen ist, keine Rolle. Man könnte nun spitzfindig argumentieren, dass die kleinen Bewegungen des Messfahrzeugs bei den Bewegungen der Insassen („dynamische Veränderungen“) eine gerade in diesem Moment laufende Messung unzulässig beeinflussen könnten. Auch hier zeigt eine

Abschätzung, dass kein Anlass zur Sorge besteht. Dies wird im Folgenden dargelegt, ebenfalls wieder nur unter Zuhilfenahme von Schulstoff.

Bei den PoliScan-Geräten wird der aus dem Abtastlaser austretende Laserstrahl noch im PoliScan-Gerät über einen um eine vertikale Achse schnell rotierenden Spiegelwürfel horizontal abgelenkt und streicht dadurch durch das Messvolumen bzw. über ein sich darin bewegendes Fahrzeug. Der Würfel rotiert mit einer Drehzahl von 25 U/s. Der reflektierte Laserstrahl ändert seine Richtung doppelt so schnell wie der Rotationswinkel des Spiegelwürfels (wegen der Reflexion am Spiegel). Für ein zu messendes Fahrzeug in 20 m Entfernung mit einer Breite von 2 m bedeutet das, dass der Abtaststrahl in nur 318 Mikrosekunden das Fahrzeug abtastet, also auf dem Auto mit einer Geschwindigkeit von $v_{\text{abtast}} = 6.283 \text{ m/s}$ entlangrast (das ist mehr als zwanzigmal so schnell wie ein Passagierflugzeug).

Betrachten wir nun den Fall, dass sich der „kräftige Messbeamte“ schwungvoll in seinen Sitz fallen lässt und das Messfahrzeug dadurch kurzzeitig in Schwingung versetzt. Für die Abschätzung nehmen wir an, dass diese Schwingung sinusförmig erfolgt und eine Periode von einer Sekunde hat. Als Amplitude setzen wir das Doppelte der oben für den statischen Fall ausgerechneten 0,26 Grad Nickwinkel an (wegen der Schwingbewegung um die nach kurzem Ausschwingen eingenommene statische Ruhelage), also 0,52 Grad.⁴ Bei angehaltenem Spiegelwürfel würde sich der Laserfleck auf einem 20 m entfernten zu messenden Fahrzeug durch diese Schwingung um 18,2 cm auf und ab bewegen; das würde allein deshalb kein Problem darstellen können, weil der Laserfleck in diesem Abstand schon eine Größe von 24 cm besitzt. Dabei würde sich der Fleck auf dem zu messenden Auto mit einer maximalen Geschwindigkeit von $v_{\text{wackel}} = 1,1 \text{ m/s}$ auf und ab bewegen. Das Verhältnis $v_{\text{abtast}}/v_{\text{wackel}} = 5712$ zeigt, dass die Wackelbewegung des Messfahrzeuges so langsam ist, dass sie keinerlei Rolle spielt: In der kurzen Zeit von 318 Mikrosekunden, die ein vollständiges Abtasten des zu messenden Fahrzeuges benötigt, hat sich die Ausrichtung des Messfahrzeuges und damit des PoliScan-Gerätes nicht merklich bewegt, es steht de facto still. Dynamische Effekte spielen also auch keine Rolle, was das befürchtete Entstehen von Messfehlern durch Masseverlagerungen im Messfahrzeug angeht.

Könnte das Wackeln am Messfahrzeug den Laserscanner stören oder gar beschädigen und so zu fehlerhaften Messwerten führen?

Aus den bisherigen Ausführungen geht hervor, dass Lageveränderungen des Scanners zu keiner unzulässigen Messwertbildung führen. Könnte es aber nicht durch diese Lageänderungen dazu kommen, dass der Laserscanner einen Defekt erleidet und es hierzu zu einer unzulässigen Messwertbildung kommt, insbesondere dann, wenn diese Lageänderungen schlagartig erfolgen?

Zur Untersuchung dieser erweiterten Fragestellung wurde das Kernstück der Sensoreinheit, der sich drehende Spiegelwürfel, im Rahmen der Zulassungsprüfungen gezielt gestört, indem seine Rotation mit Hilfe einer zusätzlich eingebauten mechanischen Bremse gehemmt oder sogar blockiert wurde.

⁴ Der im Anhang beschriebene Versuch zeigt, dass diese Wackelamplitude erheblich zu hoch angesetzt ist. Siehe die vergleichsweise kleinen Spitzen in den Messkurven im Anhang, die durch das Hinzufügen von Gewichtsstücken entstehen. Selbst mit diesem unrealistisch hoch eingesetzten Zahlenwert für die Wackelamplitude zeigt die nachfolgende Rechnung, dass dennoch kein Störeffekt für die Geschwindigkeitsmessung übrig bleibt.

Es zeigte sich, dass das Hemmen/Blockieren des Spiegelwürfels entweder zu einer Annullierung der Messung oder wegen der internen Überwachungsrouitinen der Funktionsfähigkeit unmittelbar zu einer Fehlermeldung und zur Einstellung des Messbetriebs führte. Unzulässige Messwertabweichungen traten also nicht auf.

In einem weiteren Test wurde die Stoßfestigkeit des Gerätes gemäß EN 60068-2-31 untersucht. Die Prüfung diente dazu, mit einem einfachen Verfahren festzustellen, wie sich ein Prüfling verhält, wenn er bei rauer Behandlung Stößen oder Schlägen ausgesetzt wird. Auch hierbei zeigten sich keine Auffälligkeiten, das Gerät arbeitete einwandfrei.

Da der Spiegelwürfel die einzige bewegliche Komponente im Messsystem darstellt, lassen die durchgeführten Untersuchungen den Schluss zu, dass mechanischen Beanspruchungen allenfalls zu einer Fehlermeldung führen können. Eine unzulässige Messwertbildung und somit die Benachteiligung Betroffener ist dabei ausgeschlossen.

Zur Rolle der PTB bei Ordnungswidrigkeitsverfahren

Die PTB beschränkt sich in ihrer Eigenschaft als technischer Oberbehörde der Bundesrepublik Deutschland allein auf Aussagen zu technischen Sachverhalten. Sie versteht sich dabei auch als Obergutachter, erstellt also sachverständige Stellungnahmen typischerweise nur in solchen Fällen, bei denen bereits zwei sich widersprechende Gutachten im Verfahren vorliegen oder wenn es sich um Fragen sehr grundlegender und weitreichender Bedeutung handelt. Dabei stützt sie sich neben ihrer jahrzehntelangen Erfahrung auf ein umfassendes Qualitätsmanagementsystem, welches die internationale Norm DIN EN ISO/IEC 17025 und damit die Prinzipien der ISO-9000-Serie erfüllt. Es wird zudem jährlich durch das zuständige Gremium der Internationalen Meterkonvention auditiert und akzeptiert. Ein wichtiger Bestandteil der Qualitätssicherung sind Vergleichsmessungen und Forschungskooperationen zu spezifischen technischen Fragen mit Partnern in In- und Ausland.

Dadurch kann die PTB dazu beitragen, dass Fehleinschätzungen aufgrund fehlerhafter technischer Annahmen oder interessengetriebener Einlassungen vermieden werden.

ANHANG:

Ein einfacher Messversuch

Die folgende Fotostrecke zeigt eine simple Messanordnung, mit der die PTB Ende Mai 2016 ganz praktisch untersucht hat, welchen Einfluss ein „kräftiger Messbeamter“ auf die Winkelausrichtung eines Geschwindigkeitsmessgerätes in einem KFZ hat.

Ein typisches Messfahrzeug ist ein VW Caddy, in dessen Frachtraum die Geschwindigkeitsmessanlage stabil verankert wird. Für unseren Versuch stand uns ein VW Caddy Maxi, Baujahr 2015, zur Verfügung. Im Laderaum wurden dort, wo sonst das Geschwindigkeitsmessgerät installiert wird, ein Handy mit einer zweidimensionalen Wasserwaagen-App sowie zwei digitale Wasserwaagen unter 90-Grad-Winkel aufgebaut. Außerdem wurde im Caddy ein Präzisions-Winkelmesssystem (Messunsicherheit bei Winkelmessungen 0,03 Grad, Abtastrate 100 Hz) eingebaut, welches die PTB normalerweise zu anderen Zwecken nutzt und welches hier allein deshalb zum Einsatz kam, weil es zur Verfügung stand und präzise Informationen zur Winkelausrichtung des Fahrzeugs im dreidimensionalen Raum liefert.

Bild A1 zeigt einen simulierten „kräftigen Messbeamten“ (Masse 140 kg), links vor dem Einsteigen (mit 60 kg Reserve), in der Mitte sitzend auf dem Fahrersitz und rechts sitzend neben dem Ort, wo sonst das Geschwindigkeitsmessgerät eingebaut ist.



Bild A1: Der „kräftige Messbeamte“ wird durch sieben Massestücke zu je 20 kg simuliert und nimmt an verschiedenen Stellen im Fahrzeug Platz. Im rechten Bild sieht man neben dem „Messbeamten“ das Handy mit der Wasserwaagen-App sowie die zwei digitalen Wasserwaagen. Die Batterie und das Kabel im Hintergrund dienen der Versorgung des Präzisions-Winkelmesssystems.

In allen Versuchen zeigte sich, dass der „kräftige Messbeamte“ das Fahrzeug kaum zum Kippen brachte. Sowohl Handy als auch Wasserwaagen zeigten je nach Sitzposition maximal 0,4 Grad Verkippung an, meist jedoch nicht einmal 0,2 Grad; beide arbeiten damit allerdings auch an der Grenze der Empfindlichkeit ihrer eingebauten Sensoren. Die Bilder A2 und A3 zeigen Beispiele der Messkurve des Präzisions-Winkelmesssystems. Die Stufen entsprechen dem schrittweisen „Einsteigen“ des „Messbeamten“, also dem Einladen von einem 20-kg-Massestück nach dem anderen. Gezeigt ist mit Bild A3 auch der „schlimmste“ Fall, also des Messbeamten, der hinten gleich neben dem Messgerät sitzt. Selbst dann betragen Nick- und Rollwinkel nur 0,5 bzw. 0,2 Grad. Da bei Verkippungen von 2 Grad und mehr keine Fehlmessungen von PoliScan-Geschwindigkeits-

messgeräten beobachtet wurden, kann also eine Störung der Messrichtigkeit von Laserscannern durch einen „kräftigen Messbeamten“ ausgeschlossen werden.

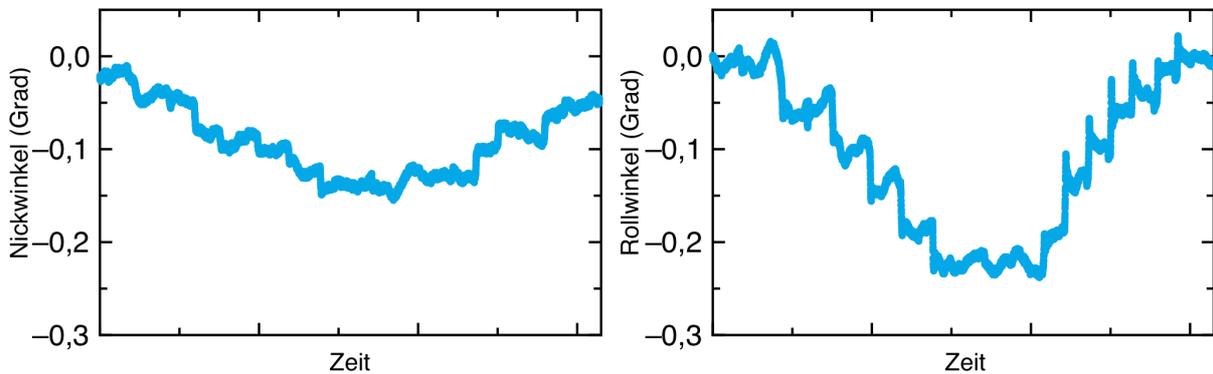


Bild A2: Messsignal der Drehbeschleunigungssensoren des Präzisions-Winkelmesssystems im Caddy bei Belastung des Fahrersitzes. Die Stufen entsprechen dem „Ein- und Aussteigen“ des simulierten Messbeamten in 20-kg-Schritten. Die scharfen Spitzen entstehen durch das Aufsetzen bzw. Abheben der 20-kg-Massestücke und zeigen somit, wie klein die dynamischen Effekte (Wackeln) durch das Ein- und Aussteigen eines Messbeamten wirklich sind. Die maximalen Nick- bzw. Rollwinkeländerungen betragen nur 0,12 Grad bzw. 0,22 Grad.

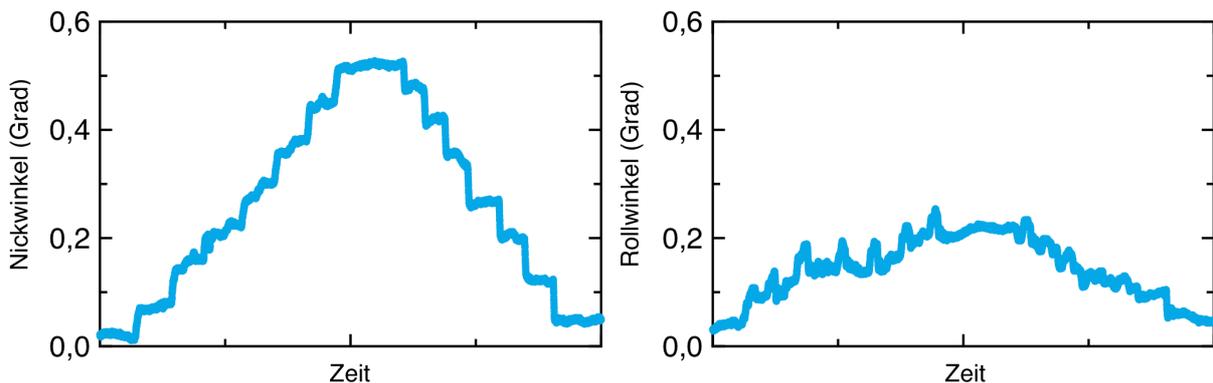


Bild A3: Messsignal der Drehbeschleunigungssensoren des Präzisions-Winkelmesssystems im Caddy bei Belastung im Laderaum, ca. über dem rechten Hinterrad. Man erkennt sehr schön die Stufen beim „Ein- und Aussteigen“ des simulierten Messbeamten in 20-kg-Schritten. Die scharfen Spitzen entstehen durch das Aufsetzen bzw. Abheben der 20-kg-Massestücke und zeigen somit, wie klein die dynamischen Effekte (Wackeln) durch das Ein- und Aussteigen eines Messbeamten wirklich sind. Die maximalen Nick- bzw. Rollwinkeländerungen betragen nur 0,50 Grad bzw. 0,18 Grad.

Insgesamt zeigt diese Versuchsreihe sehr schön, wie wenig es manchmal braucht, um im Umfeld von Verkehrsordnungswidrigkeiten durch Ermittlung der wahren Fakten Klarheit zu schaffen, wenn Verwirrung erzeugt worden ist — hier lediglich ein Handy mit kostenloser Wasserwaagen-App!