

ASSESSMENT OF A GNSS REFERENCE ACIMOBILITY 2021

Ernst P. Mrohs¹, Sravan S.K. Machiraju²
NavCert GmbH, Schwanthalerstr. 14, 80336 München, www.navcert.de

¹ phillip.mrohs@navcert.de

² sravan.machiraju@navcert.de

Keywords: GNSS, Kalibrierung, CEN 16803 Serie, ETSI TS 103 246 Serie

ABSTRACT

In der Automobilbranche und ihren Prüflaboren rückt das Thema der Positionierung und Orientierung der Fahrzeuge immer weiter in den Fokus. Belege hierfür kann man in der Einführung des europäischen eCalls mit den dazugehörigen Regularien DR (EU) 2017/79 [1], welche die ersten vorgeschriebenen Anforderungen für GNSS Sensoren sowie entsprechende GNSS-Tests für den Konformitätsnachweis im Automobilbereich beinhaltet. Ähnliche Vorgaben sind bei der immer weiter fortschreitenden Entwicklung und Einführung von Systemen im Bereich der Fahrtunterstützung und des automatisierten Fahrens zu erwarten.

Zusätzlich entwickelt sich auch die Standardisierung im Bereich der GNSS-basierten Positionierungssystem weiter, wie z. B. die ETSI TS 103 246 Serie [2-6], welche im Jahr 2020 überarbeitet veröffentlicht worden ist.

In internen oder externen Laboren wird die Konformität zu den definierten Anforderungen der GNSS Sensorik überprüft. Hierbei ist für jedes Labor die Kalibrierung der verwendeten Messgeräte und Referenzen eine wesentliche Voraussetzung für die Verlässlichkeit der Prüfung.

Da die Beobachtungen von GNSS Messgeräte nicht direkt auf SI-Einheiten zurückgeführt sind und entsprechend nicht in durch eine nationale Akkreditierungsstelle akkreditiertes Kalibrierlabor kalibriert werden können, muss anstatt der Kalibrierung eine Bewertung, Validierung und Qualifizierung von Mess- und Referenzensystemen in diesen Bereich durchgeführt werden.

Hierfür hat NavCert einen Prüfverfahren basierend auf vorhanden Standards entwickelt. Kern der Prüfung ist, wie bei Kalibrierungen definiert, die Überprüfung von Performance-Werten. Als ein prägnantes, einfach nachzuvollziehendes Beispiel, wird die von NavCert erarbeitete Prüfung der Werte im Bereich der Zeit und der Geschwindigkeit mittels Simulation vorgestellt. Im Ausblick werden derzeit diskutierte Möglichkeiten in den Bereichen der Feldtests kurz vorgestellt.

1 EINLEITUNG

Eine Kalibrierung der Messgeräte und Referenzen ist für jedes Labor eine wesentliche Voraussetzung für die Durchführung von Prüfungen mit verlässlichen Ergebnissen. Nach der gültigen Fassung der DIN 1319-1 [7] wird Kalibrierung als „Ermittlung des Zusammenhangs zwischen einem Messwert (...) und dem zugehörigen (...) richtigen Wert“ beschrieben. Hierbei wird der richtige Wert nach Definition der PTB [8] mittels Messnormalen definiert, welche eine auf fundamentalen physikalischen Konstanten beruhende Darstellung einer SI-Einheit ist.

Für GNSS-Messgeräte ist somit die Kalibrierung per Definition nicht umsetzbar, da die relevanten Messgrößen nicht direkt auf SI-Einheiten zurückzuführen sind. Im Folgenden wird das Problem detailliert aufgezeigt und eine Lösung vorgestellt.

2 PROBLEMSTELLUNG

Bisher konnte für jedes in einem Labor verwendete Messgerät ein Kalibrierschein ausgestellt werden, da nach DKD-L 13-1 [8] ein „ausgestellter Kalibrierschein ein Nachweis für die Rückführung auf nationale Normale ist, wie sie von der Normenfamilie DIN EN ISO 9000 und der DIN EN ISO/IEC 17025 gefordert wird“.

Mittlerweile werden aber auch GNSS-Receiver als Messegerät oder Referenz bei Prüfungen eingesetzt. Derzeitige Einsatzgebiete für GNSS-Receiver als Prüfgegenstand im Bereich der Automobilindustrie sind zum Beispiel:

- Prüfungen im Bereich des europäischen Notrufs z.B. DR (EU) 2017/79 Annex I, II und III [1] bei denen der tatsächliche Standort benötigt wird
- Prüfung bzgl. der Leistung von GNSS basierten Ortungssysteme nach der DIN EN 16803-2 [9] bei denen eine Referenz bzgl. der definierten Metriken benötigt wird.

Für Prüfungen gemäß DIN EN 16803-2 soll ein Referenzempfänger als ein Referenz-Trajektorien-Messgerät eingesetzt werden. Falls dieses System nicht im Vorfeld bewertet und validiert worden sind, fehlt der Beleg der Qualität der Messwerte und das Prüfergebnis ist zweifelhaft.

Zur Lösung dieses Problem hat NavCert als akkreditiertes Labor für GNSS ein internes Projekt im Rahmen der Akkreditierung durchgeführt, welches im Folgenden kurz beschrieben wird.

3 EINGEHEDE MESSUNGSANALYSE

Als erster Schritt wurde eine kurze initiale Messanalyse typischer GNSS-Receiver durchgeführt. Hierbei wurden typische Messgrößen sowie Ausgabeprotokolle betrachtet.

Nach [10] Kapitel 3.3 sind die folgenden Messgrößen die typischen Beobachtungsgrößen von GNSS-Empfängern:

- Pseudoentfernung bzw. Codephase
- Trägerphase
- Doppler-Frequenzverschiebung

Eine genaue Betrachtung der Messungen und der Verarbeitung dieser wird in diesem Dokument nicht adressiert. Diese typischen Beobachtungsgrößen werden üblicherweise in Form von RINEX-Daten im Beobachtungsanteil mit zusätzlichen Informationen, wie z.B. Informationen bzgl. Beobachtungszeit von bestimmten Receivern, ausgegeben und mit den RINEX-Navigationsanteil ergänzt. In der Vergangenheit waren Receiver, die RINEX ausgeben konnten, meist die Professionelleren. Jedoch ändert sich dies in den letzten Jahren z. B. aufgrund der Freigabe von GNSS-Rohdaten in Android Umgebungen [11]. Üblicherweise werden RINEX-Daten für GNSS-Postprocessing verwendet, was derzeit nur in bestimmenden Bereichen bzw. nur für bestimmte Prüfungen durchgeführt wird. Deswegen wird in diesem Dokument nicht weiter auf diese eingegangen.

Ein weiteres Standardausgabeformat in diversen Ausprägungen und Versionen ist NMEA, welches von jedem Receiver unterstützt wird. Es ist ein Real-Time-Ausgabeprotokoll, welches neben Informationen über sichtbare Satelliten, auch den aktuellen Positionsfix des GNSS-Receivers liefert. Dieses Dokument fokussiert sich auf NMEA-0183 v 4.11 mit den in der DR 2017/79 [1] Annex VI definierten RMC, GGA, VTG, GSA und GSV -Message, die wie folgt definiert sind [12]:

- RMC: Recommended Minimum Specific GNSS Data
 - o Beinhaltet Zeit-, Datums, Positions-, Geschwindigkeits-, Status-, Kursinformationen
- GGA: Global Positioning System Fix Data
 - o Beinhaltet Zeit-, Datums, Positions-, Qualitäts-, Höheninformationen, welche durch die Anzahl der verwendeten Satelliten und Informationen bzgl. verwendeter Korrekturdaten ergänzt werden
- VTG: Course Over Ground & Ground Speed
 - o Beinhaltet Kurs-, Geschwindigkeits- und Statusinformationen
- GSA: GNSS DOP and Active Satellites
 - o Beinhaltet Status- und Satelliteninformationen bzgl. Navigationssatelliten, die aktiv für die Positionierung verwendet werden, welche durch PDOP, HDOP und VDOP ergänzt werden
- GSV: GNSS Satellites In View
 - o Beinhaltet Informationen über mögliche und gesehene Satelliten

Zusätzlich zu den beiden vorgestellten Formaten gibt es diverse proprietäre Formate, auf die in diesem Dokument nicht eingegangen wird. Ebenfalls gibt es noch weitere Ausgabemöglichkeiten, wie z.B. PPS-Signale, die aber nicht im Rahmen des initialen Projekts liegen.

4 STANDARDS

Als nächster Schritt wurde eine Analyse von verfügbaren Standards für die Bewertung durchgeführt. Die folgenden Standards wurden ausgewählt als

- Definition der Leistungsanforderungen
- Definition der Testsetups und Testbeschreibung

Nummer	Version	Name	Verwendung
ETSI TS 103 246-3 [4]	V1.3.1 (2020-10)	GNSS-basierte Ortungssysteme; Teil 2: Leistungsanforderungen	Definition der Leistungsanforderungen
ETSI TS 103 246-5 [6]	V1.3.1 (2020-10)	GNSS-basierte Ortungssysteme; Teil 5: Spezifikation für den Leistungstest	Definition der Testsetups und Testbeschreibung
DIN EN 16803-2 [9]	2021-07	Anwendung von GNSS-basierter Ortung für Intelligente Transportsysteme (ITS) im Straßenverkehr – Teil 2: Bestimmung der grundlegenden Leistungen von GNSS-basierten Ortungsendgeräten	Definition der Testsetups und Testbeschreibung
DIN EN 16803-1 [13]	2021-07	Anwendung von GNSS-basierter Ortung für Intelligente Transportsysteme (ITS) im Straßenverkehr - Teil 3: Feldtests zur Überprüfung der sicheren Leistungen von GNSS basierten Ortungsendgeräte	Definition der Leistungsanforderungen
DR 2017/79 [1]	2017	Delegierte Verordnung (EU) 2017/79 der Kommission zur Festlegung detaillierter technischer Anforderungen und Prüfverfahren für die EG-Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich ihrer auf dem 112-Notruf basierenden bordeigenen eCall-Systeme/Einheiten und Bauteilen	Definition der Testsetups und Testbeschreibung

Tabelle 1: Übersicht über verwendete Standards

5 METRIKEN

Basierend auf den oben aufgeführten Standards wurde der Fokus der Metrik auf Horizontale Position-, Geschwindigkeit- und Zeitparameter gelegt, da diese die grundlegenden Parameter in diversen Anwendungen sind. Diese sind nach [13] Kapitel 5.5 und [4] Kapitel 5.4.1 wie folgt definiert:

Ausgabeparameter	Komponente	Beschreibung
Position	Horizontal	Die horizontale Positionsgenauigkeit ist definiert durch den horizontalen Fehler der gültigen Positionsangaben. Der horizontale Positionsfehler ist hier zu verstehen als die euklidische Norm der horizontalen Projektion des 3D-Positionsfehlervektors.
Geschwindigkeit	Horizontal	Die horizontale Geschwindigkeitsgenauigkeit ist definiert durch den horizontalen Fehler der gültigen Geschwindigkeitsausgaben
Zeit	-	Die Zeitgenauigkeit ist die Differenz zwischen der wahren GNSS-Zeit (Referenzzeit des GNSS-Systems) und der vom die vom GBLS-System berechnet wird.

Tabelle 2: Metriken

Dies wird ergänzt durch die in [4] Kapitel 5.2.2 definierten Fehler, mittlerer Fehler, Standardabweichung, sowie den dazugehörigen Perzentilen zur Berechnung der Metrik-Werte.

6 TESTBESCHREIBUNG

Als nächster Schritt wurde basierend auf den Anforderungen an Labore der DIN EN ISO/IEC 17025:2017 zunächst eine Beschreibung der durchzuführenden Prüfungen und eine eingehende Analyse bzgl. der Tests z. B. im Bereich der Messunsicherheitsanalyse basierend ISO Guide 98-3 [14] durchgeführt. Auf diesen Standard wird nur beispielhaft im Rahmen der Stichprobenanalyse nach [15] eingegangen.

Um eine ausreichende Aussagekraft der Prüfergebnisse zu erhalten, muss eine gewisse Konfidenz vorhanden sein, welche die Stichprobengröße beeinflusst. Innerhalb des internen Projekts wurden die Konfidenzen bzgl. der Binomialverteilung bei einer unendlichen Grundgesamtheit von 99% und 99,9% betrachtet, die mit einem Faktor von 2,57583 bzw. 3,29053 nach [15] A.5 in der Stichprobenanalyse

berücksichtigt werden. Somit entsteht unter Einbeziehung weiterer Parameter eine min. Stichprobengröße von ca. 16.600 bzw. ca. 27.000 Stichproben für die jeweiligen Tests. Unter der Berücksichtigung der minimalen Ausgaberate von 1 Hz, ergibt sich somit eine Testdauer von mindestens 4,6 Stunden bzw. 7,5 Stunden.

Im Anschluss wurden die Tests basierend auf den in Kapitel 4 aufgeführten Standards als Simulation beschrieben. Auf diese wird in diesem Dokument nur als Übersicht eingegangen:

- Definition der GNSS-Umgebung

o Dämpfungsumgebungsbeschreibung nach [4] Annex A.3.2

- Die beschriebenen Tests werden jeweils für die drei definierten Umgebungen open, urban und asymmetric durchgeführt

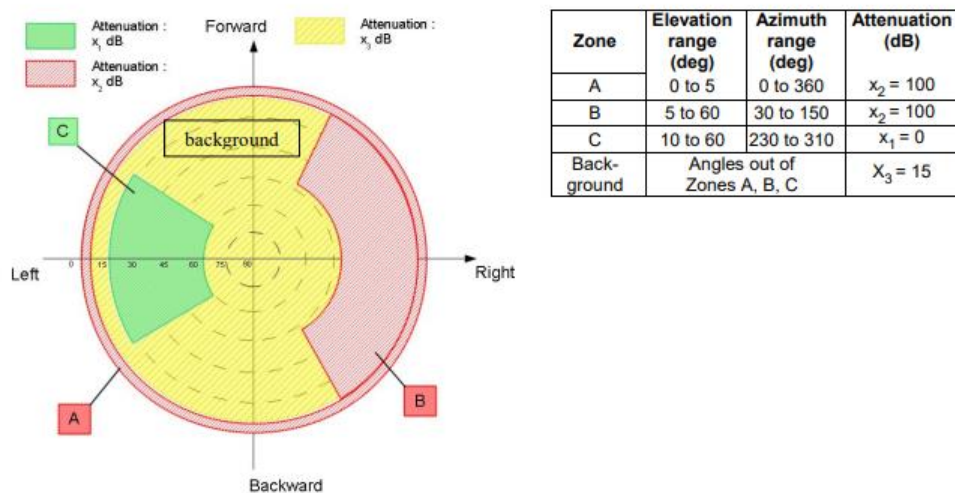


Abbildung 1: Asymmetrische GNSS-Umgebung nach [4] Figure A.3

- o GNSS Signallevel wurde entsprechend [6] 5.3 definiert. Hierbei wird GPS L1 als minimal zu simulierende Konstellationsfrequenz definiert. Zusätzliche Konstellationen und Frequenzen sind optional für den initialen Testplan
- o Die simulierte Satellitenkonstellation soll jeweils einen HDOP von 1,6 bis 2,5 nach [4] A.2.1 aufweisen

- Zustandsbeschreibung

- o Die Tests wurden statisch und kinematisch durchgeführt.
- o Für die statischen Tests wurde eine fixe Position nach [1] Annex VI Tabelle 2-Standort gewählt.
- o Für die kinematischen Tests wurde die Szenario-Beschreibung nach [4] A.4 verwendet, wobei als Startpunkt der Punkt der statischen Tests definiert worden ist.

Da in dieser Prüfung zunächst keine kritischen Szenarios überprüft werden, wurden keine GNSS-Fehler, wie z.B. Multipath, simuliert und ein Standardmodell der Atmosphäre für die Tests verwendet.

Das Testsetup besteht aufgrund der Nichtberücksichtigung von zusätzlichen Sensoren und kritischen Szenarien nur aus einer GNSS-Signalquelle, welche die definierten Signale mittels Kabel dem zu testenden GNSS Empfänger- zur Verfügung stellt. Hierbei müssen die Kabelverbindungen zuvor überprüft werden, um mögliche, signifikante Signalverluste zu kompensieren.

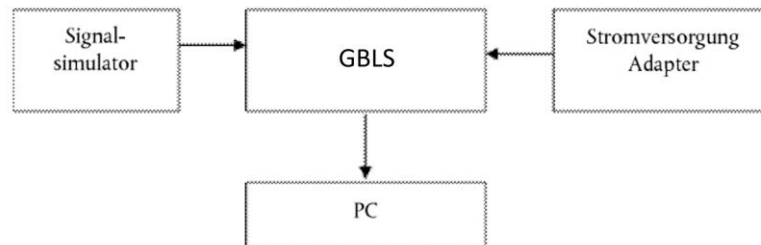


Abbildung 2: Testsetup nach [1] Annex VI Abbildung 2

In das Testsetup kann optional ein LNA eingebracht werden, um das Antennen-LNA im Messaufbau zu berücksichtigen.

Das Testsetup kann auch als Over-the-Air Testsetup innerhalb einer geschirmten Umgebung aufgebaut werden, wobei jedoch der Signalverlust durch die Luftschnittstelle berücksichtigt werden muss, um reproduzierbare und verlässliche Prüfergebnisse zu erhalten.

7 AUSWERTUNG

Zum Abschluss wird das Auswerteverfahren vorgestellt. Hierbei muss man zwischen zwei Ansätzen unterscheiden:

- Bestimmung des Positions- und Geschwindigkeitsfehler
- Bestimmung des Zeitfehlers

Die Bestimmung des Positions- und Geschwindigkeitsfehler wurde anhand der Beschreibungen aus DR (EU) 2017/79 [1] Annex VI 2.2.2.7 bis 2.2.213 definiert. Für diese Auswertung werden die Positions- und Geschwindigkeitsdaten des zu prüfenden Objekts mit denen der Referenz anhand ihres Zeitstempels miteinander verglichen. Basierend auf der definierten Formel werden die Auswertegrundlagen Fehler, mittlerer Fehler und Standardabweichung ermittelt. Diese gehen wiederum in weitere statistische Auswertungen, wie die in Kapitel 5 genannten Perzentilen, und statistische Test wie den Cochran Test nach ISO 5725-2 [17] ein und bilden dann anhand von zuvor definiertem Pass/Fail-Kriterien die Basis der Prüfentscheidung für diese Parameter.

Die Bestimmung des Zeitfehlers basiert auf dem Prinzip der Korrelationsanalyse mit Hilfe des Korrelationskoeffizienten der Position nach [16]. Hierbei werden die Referenzzeitreihe gegen die Beobachtungszeitreihe stückweise verschoben und jeweils der Korrelationskoeffizient bestimmt. Das Maximum der somit berechneten Korrelationskoeffizientenreihe beschreibt dabei den bestmöglichen Fit zwischen Referenz und Beobachtung. Die Position des Maximums in dieser Reihe definiert somit einen bestimmten zeitlichen Versatz zwischen Referenz und Beobachtung, der anhand des zeitlichen Offsets zwischen den Messpunkten in den Zeitfehler überführt werden kann.

Im Rahmen der anschließenden laborseitigen Validierung und Verifikation des Prüfverfahrens wurden innerhalb des Projektes die NMEA-Daten eines Timing-Receivers und eines geodätischen

Receivers mit den validierten Referenzdaten des GNSS-Simulators verglichen. Hierbei wurden folgende Ergebnisse erzielt:

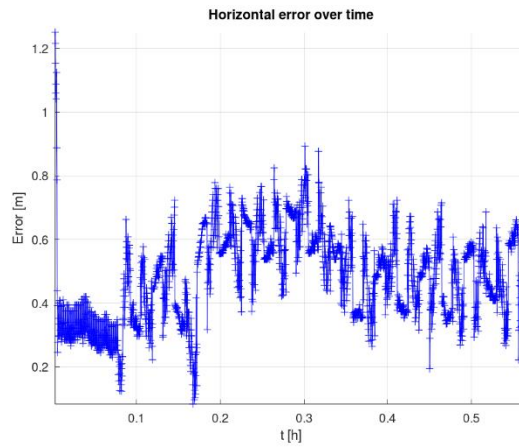


Abbildung 3: Horizontaler Fehler über die Zeit des Timing-Receivers

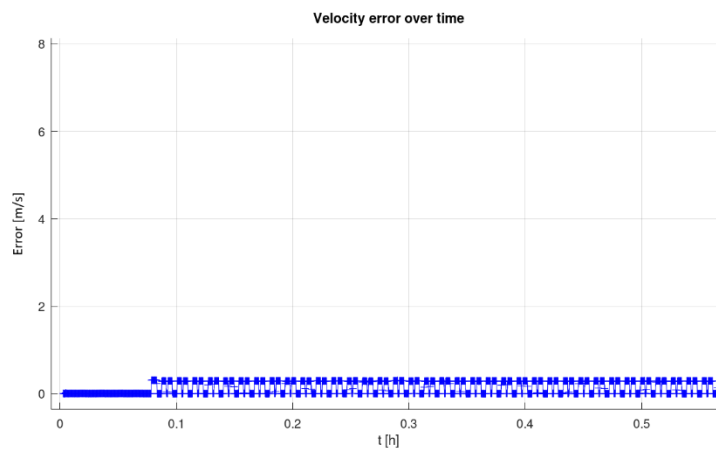


Abbildung 4: Geschwindigkeitsfehler über die Zeit des geodätischen Receivers

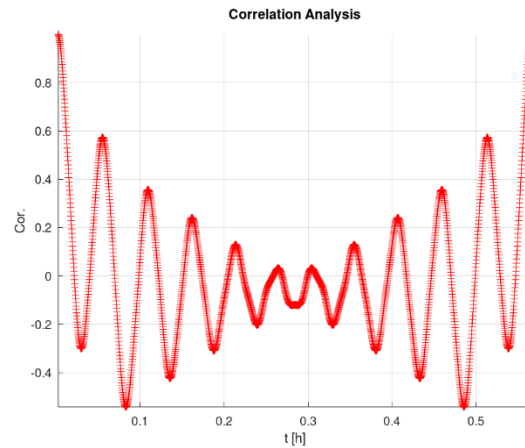


Abbildung 5: Korrelationsverlauf des geodätischen Receivers

Hierbei erzielte der geodätische Receiver unter Berücksichtigung der Auflösung von 10 ms der Referenz eine vergleichbare Zeitqualität, da das Korrelationsmaximum bei keinem Vershub erreicht wurde. Der Timing-Receiver erzielte dasselbe Ergebnis bzgl. Zeitqualität.

Bzgl. der Position und der Geschwindigkeit wurden jeweils Werte unter 1m für den horizontalen Positionsfehler und unter 0.25 m/s für den horizontalen Geschwindigkeitsfehler im SBAS- Modus der Empfänger erreicht.

8 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Wie initial vorgestellt, ist eine Kalibrierung für GNSS-Messgeräte aufgrund der Definition nicht umsetzbar, da die relevanten Messgrößen von GNSS nicht direkt auf SI-Einheiten zurückzuführen sind. Dementsprechend muss anstatt der Kalibrierung eine Bewertung, Validierung und Qualifizierung von Referenzsystemen in diesen Bereich durchgeführt werden.

Die durchgeführte Validierung und Verifizierung des Prüfverfahrens stellt sicher, dass das entwickelte Prüfverfahren den initialen Erwartungen entspricht und als ein grundlegendes Verfahren zur Bewertung, Validierung und Qualifizierung benutzt werden kann.

Jedoch bietet es nur eine grundlegende Bewertung an und wird durch NavCert in diversen Gebieten weiterentwickelt. Hierbei ist z. B. die Planung RINEX-Daten in der Prüfung neben den NMEA-Daten zu berücksichtigen und somit auch weitere GNSS-Beobachtungen zu überprüfen wie z.B. Pseudoentfernung. Ebenso wird die Berücksichtigung von bestimmten GNSS kritischen Szenarien, wie z. B. Multipath, als optionaler Testpunkt betrachtet.

REFERENZEN

- [1] European Commission, DR (EU) 2017/79, 2017
- [2] ETSI, ETSI TS 103 246-1, v1.3.1, 2020-10
- [3] ETSI, ETSI TS 103 246-2, v1.3.1, 2020-10
- [4] ETSI, ETSI TS 103 246-3, v1.3.1, 2020-10
- [5] ETSI, ETSI TS 103 246-4, v1.3.1, 2020-10
- [6] ETSI, ETSI TS 103 246-5, v1.3.1, 2020-10
- [7] DIN, DIN 1319-1, 1995-01
- [8] PTB-DKD, DKD-L 13-1 Praxisgerechte Ermittlung der Messunsicherheit, Revision 1, 2012-02

- [9] CEN-CENELEC, DIN-EN 16803-2: Space -Use of GNSS-based positioning for road Intelligent Transport Systems (ITS) -Part 2: Assessment of basic performances of GNSS-based positioning terminals, 2021-07
- [10] Manfred Bauer, Vermessung und Ortung mit Satelliten, 6. Auflage, Wichmann, Berlin, 2011
- [11] Google LLC, Raw GNSS Measurements (last updated 2021-08-05), <https://developer.android.com/guide/topics/sensors/gnss>, , accessed 2021-08-10
- [12] National Marine Electronics Association Inc., NMEA 0183, Version 4.11, 2018-11
- [13] CEN-CENELEC, DIN-EN 16803-1: Space – Use of GNSS-based positioning for road Intelligent Transport Systems (ITS) – Part 1: Definitions and system engineering procedures for the establishment and assessment of performances, 2021-07
- [14] ISO/IEC, ISO Guide 98-3 Uncertainty of measurement- Part 3 Guide to the expression of uncertainty in measurement, 2008
- [15] Wolfgang Polasek, Schließende Statistik, Springer, Berlin, 1997
- [16] JCGM, JCGM 100:2008 Evaluation of measurement data, 2008-09
- [17] ISO, ISO 5725-2 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method, 2019-12

ABKÜRZUNGEN

Abkürzung	Definition
GNSS	Global Navigation Satellite System
DR (EU)	Delegated Regulation (European Union)
eCall	emergency call
GBLS	GNSS-based Localisation Systems
GGA	Global Positioning System Fix Data
GSA	GNSS DOP and Active Satellites
GSV	GNSS Satellites In View
HDOP	Horizontal Dilution Of Precision
ITS	Intelligente Transportsysteme Kommunikationsprotokoll definiert durch die National marine Electronics
NMEA	Association
PPS	Pulse-per-Second
RMC	Recommended Minimum Specific GNSS Data
SI	Système International d'Unités
VTG	Course Over Ground & Ground Speed