

II

(Rechtsakte ohne Gesetzescharakter)

VERORDNUNGEN

VERORDNUNG (EU) 2016/646 DER KOMMISSION

vom 20. April 2016

zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 6)

(Text von Bedeutung für den EWR)

DIE EUROPÄISCHE KOMMISSION —

gestützt auf den Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union,

gestützt auf die Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2007 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen für Fahrzeuge ⁽¹⁾, insbesondere auf Artikel 5 Absatz 3,

in Erwägung nachstehender Gründe:

- (1) Die Verordnung (EG) Nr. 715/2007 ist einer der Einzelrechtsakte für die Zwecke des gemeinschaftlichen Typgenehmigungsverfahrens gemäß der Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates ⁽²⁾.
- (2) Die Verordnung (EG) Nr. 715/2007 schreibt für neue leichte Nutzfahrzeuge die Einhaltung bestimmter Emissionsgrenzwerte sowie zusätzliche Anforderungen für den Zugang zu Informationen vor. Die zur Durchführung dieser Verordnung erforderlichen speziellen technischen Vorschriften wurden von der Kommission mit der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 ⁽³⁾ erlassen.
- (3) Die Kommission hat hierzu auf der Grundlage eigener Forschung und externer Informationen die Verfahren, Prüfungen und Anforderungen für die Typgenehmigung gemäß der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 eingehend analysiert und ist zu dem Schluss gekommen, dass die in der Betriebspraxis mit Fahrzeugen des Typs Euro 5/6 tatsächlich entstehenden Emissionen, insbesondere die NO_x-Emissionen von Dieselfahrzeugen, die im vorgeschriebenen Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) gemessenen Emissionen erheblich überschreiten.
- (4) Durch die Einführung und anschließende Überarbeitung von Euro-Normen wurden die Emissionsanforderungen für die Typgenehmigung für Kraftfahrzeuge nach und nach erheblich verschärft. Zwar wurden für Fahrzeuge im Allgemeinen bei den limitierten Schadstoffen durchweg erhebliche Emissionsvermindierungen erreicht, jedoch nicht bei den NO_x-Emissionen aus Dieselmotoren (insbesondere von leichten Nutzfahrzeugen). Daher sind Maßnahmen nötig, um diesen Missstand zu beenden.
- (5) „Abschalteinrichtungen“ im Sinne von Artikel 3 Absatz 10 der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 zur Verringerung der Emissionsminderungsleistung sind verboten. Die jüngsten Ereignisse haben deutlich gemacht, dass die

⁽¹⁾ ABl. L 171 vom 29.6.2007, S. 1.

⁽²⁾ Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. September 2007 zur Schaffung eines Rahmens für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge (Rahmenrichtlinie) (ABl. L 263 vom 9.10.2007, S. 1).

⁽³⁾ Verordnung (EG) Nr. 692/2008 der Kommission vom 18. Juli 2008 zur Durchführung und Änderung der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen für Fahrzeuge (ABl. L 199 vom 28.7.2008, S. 1).

Durchsetzung von Rechtsvorschriften in dieser Hinsicht verstärkt werden muss. Daher ist es angemessen, eine bessere Überwachung der vom Hersteller bei der Typgenehmigung angewandten Emissionsminderungsstrategie zu verlangen, gemäß den Grundsätzen, die nach der Verordnung (EG) Nr. 595/2009 und ihren Durchführungsbestimmungen bereits für schwere Nutzfahrzeuge gelten (Euro 6).

- (6) Maßnahmen zur Verringerung der NO_x-Emissionen von Dieselfahrzeugen dürften auch zur Abnahme der gegenwärtig anhaltend hohen Konzentrationen von NO₂ in der Umgebungsluft beitragen, die eine erhebliche Gefährdung der menschlichen Gesundheit darstellen.
- (7) Die Kommission hat im Januar 2011 eine Arbeitsgruppe eingerichtet, in der alle Interessenträger an der Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Messung der Emissionen im praktischen Fahrbetrieb (real driving emissions — RDE) mitwirken, das ein realistischeres Bild von den im Fahrbetrieb auf der Straße gemessenen Emissionen vermittelt. Dazu wurde nach ausführlichen Fachdiskussionen der in der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 angeregte Weg beschritten, nämlich der Einsatz portabler Emissionsmesssysteme (PEMS) sowie das Regulierungskonzept verbindlicher Höchstwerte (NTE-Grenzwerte).
- (8) Im Einvernehmen mit den Akteuren des CARS-2020-Prozesses ⁽¹⁾ sollten die RDE-Prüfverfahren in zwei Stufen eingeführt werden: Während eines ersten Übergangszeitraums sollten die Prüfverfahren lediglich zu Überwachungszwecken eingesetzt werden, anschließend jedoch in Verbindung mit verbindlichen quantitativen RDE-Anforderungen für alle neuen Typgenehmigungen und neuen Fahrzeuge.
- (9) Die RDE-Prüfverfahren wurden mit der Verordnung (EU) 2016/427 der Kommission ⁽²⁾ eingeführt. Nun müssen quantitative RDE-Anforderungen erlassen werden, um die Auspuffemissionen unter allen normalen Betriebsbedingungen auf die Grenzwerte der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 zu begrenzen. Dabei sollten statistische und technische Ungenauigkeiten der Messverfahren berücksichtigt werden.
- (10) Damit sich die Hersteller allmählich an die RDE-Vorschriften anpassen können, sollten die endgültigen quantitativen RDE-Anforderungen in zwei aufeinanderfolgenden Schritten eingeführt werden. In einem ersten Schritt, der ab vier Jahren nach den verbindlichen Daten für die verbindliche Anwendung von Euro 6 gelten sollte, sollte ein Übereinstimmungsfaktor von 2,1 gelten. Der zweite Schritt sollte ein Jahr und vier Monate nach dem ersten Schritt folgen; dann sollte die vollständige Einhaltung des Emissionsgrenzwertes für NO_x von 80 mg/km gemäß der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 zuzüglich einer Marge zur Berücksichtigung der zusätzlichen Messunsicherheiten beim Einsatz von portablen Emissionsmesssystemen (PEMS) gelten.
- (11) Zwar ist es wichtig, dass mit dem RDE-Prüfverfahren möglichst alle Fahrsituationen abgedeckt werden, doch sollte vermieden werden, dass die geprüften Fahrzeuge auf verzerrte Weise gefahren werden, d. h. mit der Absicht, das Bestehen oder Durchfallen des Fahrzeugs bei der Prüfung nicht aufgrund seiner technischen Eigenschaften, sondern aufgrund extremer Fahrmuster zu bewirken. Deshalb werden zusätzliche Randbedingungen für die RDE-Prüfung eingeführt, um auf solche Situationen einzugehen.
- (12) Es liegt in der Natur der Sache, dass während einzelner PEMS-Fahrten aufgetretene Fahrbedingungen möglicherweise nicht vollständig den „normalen Betriebsbedingungen eines Fahrzeugs“ entsprechen. Die Strenge der Emissionsminderung kann daher bei solchen Fahrten variieren. Infolgedessen, und zur Berücksichtigung der statistischen und technischen Ungewissheiten der Messverfahren, könnte in der Zukunft in Erwägung gezogen werden, in den NTE-Emissionsgrenzwerten einzelner PEMS-Fahrten die Merkmale dieser Fahrten zu berücksichtigen, die anhand bestimmter messbarer Parameter, z. B. im Zusammenhang mit Fahrdynamik und Arbeitslast beschrieben werden. Wenn dieser Grundsatz angewandt wird, sollte es nicht zu einer Schwächung der ökologischen Auswirkungen und der Wirksamkeit der RDE-Prüfverfahren kommen, was anhand einer von Fachleuten überprüften wissenschaftlichen Studie nachgewiesen werden sollte. Außerdem sollten für die Beurteilung der Wirksamkeit der emissionsmindernden Einrichtung während einer PEMS-Fahrt nur Parameter, die durch objektive wissenschaftliche Gründe gerechtfertigt sind und nicht nur aus Gründen der Kalibrierung des Motors oder der emissionsmindernden Einrichtungen oder Systeme, berücksichtigt werden.
- (13) Im Hinblick auf die notwendige Verringerung der NO_x-Emissionen in den Städten sollte dringend geprüft werden, ob die relative Gewichtung der innerorts, außerorts und auf der Autobahn gefahrenen Anteile der RDE-Prüfung so geändert werden kann, dass in der Praxis ein niedriger Konformitätsfaktor sichergestellt wird; dies schafft eine weitere Grenzbedingung für die Fahrdynamik im dritten RDE-Paket, oberhalb dessen die erweiterten Bedingungen ab den Fristen für die Einführung der Stufe 1 gelten.

⁽¹⁾ Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen CARS 2020: Ein Aktionsplan für eine wettbewerbsfähige und nachhaltige Automobilindustrie in Europa (COM(2012) 636 final).

⁽²⁾ Verordnung (EU) 2016/427 der Kommission vom 10. März 2016 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (ABl. L 82 vom 31.3.2016, S. 1).

- (14) Die Kommission wird die Bestimmungen des RDE-Prüfverfahrens beobachten und diese Bestimmungen anpassen, um neue Fahrzeugtechnologien zu berücksichtigen und um ihre Wirksamkeit zu gewährleisten. Die Kommission wird außerdem die angemessene Höhe des endgültigen Übereinstimmungsfaktors jährlich mit Blick auf den technischen Fortschritt prüfen. Sie wird insbesondere die zwei alternativen Methoden für die Bewertung der PEMS-Emissionsdaten gemäß den Anlagen 5 und 6 zu Anhang IIIA der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 im Hinblick auf die Entwicklung eines einheitlichen Verfahrens überprüfen.
- (15) Es ist deshalb angebracht, die Verordnung (EG) Nr. 692/2008 entsprechend zu ändern.
- (16) Die Maßnahmen dieser Verordnung stehen im Einklang mit der Stellungnahme des Technischen Ausschusses „Kraftfahrzeuge“ —

HAT FOLGENDE VERORDNUNG ERLASSEN:

Artikel 1

Die Verordnung (EG) Nr. 692/2008 wird wie folgt geändert:

1. In Artikel 2 werden die folgenden Nummern 43 und 44 angefügt:

„43. ‚Standard-Emissionsstrategie‘ (BES — Base Emission Strategy) eine Emissionsstrategie, die über den gesamten Drehzahl- und Lastbereich des Motors aktiv ist, solange keine zusätzliche Emissionsstrategie aktiviert ist;

44. ‚zusätzliche Emissionsstrategie‘ (AES — Auxiliary Emission Strategy) eine Emissionsstrategie, die in Abhängigkeit von spezifischen Umwelt- oder Betriebsbedingungen für einen bestimmten Zweck aktiv wird und eine Standard-Emissionsstrategie ersetzt oder ändert und nur so lange wirksam bleibt, wie diese Bedingungen anhalten.“

2. Artikel 3 Absatz 10 dritter Unterabsatz erhält folgende Fassung:

„Bis zu drei Jahre nach den in Artikel 10 Absatz 4 und vier Jahre nach den in Artikel 10 Absatz 5 der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 genannten Daten gelten folgende Bestimmungen:“;

3. Artikel 3 Absatz 10 Buchstabe a erhält folgende Fassung:

„Die Vorschriften von Nummer 2.1 des Anhangs IIIA finden keine Anwendung.“

4. In Artikel 5 werden die folgenden Absätze 11 und 12 eingefügt:

„11. Der Hersteller muss ferner eine erweiterte Dokumentation mit folgenden Angaben vorlegen:

a) Informationen über den Betrieb aller zusätzlichen Emissionsstrategien (AES) und Standard-Emissionsstrategien (BES), einschließlich einer Beschreibung der von jeder AES veränderten Parameter und der Grenzen, innerhalb deren die AES arbeiten, sowie Angaben darüber, welche AES und BES unter den Bedingungen des Prüfverfahrens gemäß dieser Verordnung voraussichtlich aktiv sind;

b) Angaben zur Logik des Kraftstoffregelsystems, zu den Steuerstrategien und zu den Schaltpunkten bei allen Betriebszuständen.

12. Die in Absatz 11 genannte erweiterte Dokumentation ist streng vertraulich zu behandeln. Sie kann von der Genehmigungsbehörde oder, mit deren Einverständnis, auch vom Hersteller aufbewahrt werden. Bewahrt der Hersteller die Dokumentation auf, ist diese von der Genehmigungsbehörde zu kennzeichnen und zu datieren, sobald sie überprüft und genehmigt wurde. Sie ist der Genehmigungsbehörde zum Zeitpunkt der Genehmigung und jederzeit während der Gültigkeit der Genehmigung für Prüfzwecke zugänglich zu machen.“

5. Anlage 6 zu Anhang I wird entsprechend Anhang I dieser Verordnung geändert.

6. Anhang IIIA wird entsprechend Anhang II dieser Verordnung geändert.

Artikel 2

Diese Verordnung tritt am zwanzigsten Tag nach ihrer Veröffentlichung im *Amtsblatt der Europäischen Union* in Kraft.

Diese Verordnung ist in allen ihren Teilen verbindlich und gilt unmittelbar in jedem Mitgliedstaat.

Brüssel, den 20. April 2016

Für die Kommission
Der Präsident
Jean-Claude JUNCKER

ANHANG I

In Anhang I Anlage 6 der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 wird Tabelle 1 wie folgt geändert:

(1) Die Zeilen ZD, ZE und ZF erhalten folgende Fassung:

„ZD	Euro 6c	Euro 6-2	M, N1 Gruppe I	PI, CI		1.9.2018	31.8.2019
ZE	Euro 6c	Euro 6-2	N1 Gruppe II	PI, CI		1.9.2019	31.8.2020
ZF	Euro 6c	Euro 6-2	N1 Gruppe III, N2	PI, CI		1.9.2019	31.8.2020“

(2) Unter der Zeile ZF werden die folgenden Zeilen eingefügt:

„ZG	Euro 6d- TEMP	Euro 6-2	M, N1 Gruppe I	PI, CI	1.9.2017	1.9.2019	31.12.2020
ZH	Euro 6d- TEMP	Euro 6-2	N1 Gruppe II	PI, CI	1.9.2018	1.9.2020	31.12.2021
ZI	Euro 6d- TEMP	Euro 6-2	N1 Gruppe III, N2	PI, CI	1.9.2018	1.9.2020	31.12.2021
ZJ	Euro 6d	Euro 6-2	M, N1 Gruppe I	PI, CI	1.1.2020	1.1.2021	
ZK	Euro 6d	Euro 6-2	N1 Gruppe II	PI, CI	1.1.2021	1.1.2022	
PLN	Euro 6d	Euro 6-2	N1 Gruppe III, N2	PI, CI	1.1.2021	1.1.2022“	

(3) in der Erläuterung zur Tabelle werden nach dem Absatz zur Emissionsnorm „Euro 6b“ folgende Absätze angefügt:

„Emissionsnorm ‚Euro 6c‘ = die vollständigen Emissionsanforderungen der Emissionsnorm ‚Euro 6‘, jedoch ohne die quantitativen RDE-Anforderungen, d. h. die Emissionsnorm ‚Euro 6b‘, endgültige Partikelzahlnormen für PI-Fahrzeuge, die Verwendung von E10- und B7-Bezugskraftstoff (falls zutreffend) anhand des vorgeschriebenen Laborprüfzyklus und die RDE-Prüfung lediglich zu Überwachungszwecken (keine Anwendung von NTE-Emissionsgrenzwerten);

Emissionsnorm ‚Euro 6d TEMP‘ = die vollständigen Emissionsanforderungen der Emissionsnorm ‚Euro 6‘, d. h. die Emissionsnorm ‚Euro 6b‘, endgültige Partikelzahlnormen für PI-Fahrzeuge, die Verwendung von E10- und B7-Bezugskraftstoff (falls zutreffend) anhand des vorgeschriebenen Laborprüfzyklus und die RDE-Prüfung mit vorläufigen Übereinstimmungsfaktoren;“

(4) in der Erläuterung zur Tabelle erhält der mit „Emissionsnorm Euro 6c“ beginnende Absatz folgende Fassung:

„Emissionsnorm ‚Euro 6d‘ = die vollständigen Emissionsanforderungen der Emissionsnorm ‚Euro 6‘, d. h. die Emissionsnorm ‚Euro 6b‘, endgültige Partikelzahlnormen für PI-Fahrzeuge, die Verwendung von E10- und B7-Bezugskraftstoff (falls zutreffend) anhand des vorgeschriebenen Laborprüfzyklus und die RDE-Prüfung mit endgültigen Übereinstimmungsfaktoren;“.

ANHANG II

Anhang IIIA der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 wird wie folgt geändert:

(1) Nummer 2.1 erhält folgende Fassung:

„2.1. Verbindliche Emissionsgrenzwerte (NTE)

Während der gesamten normalen Lebensdauer eines nach der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 genehmigten Fahrzeugtyps dürfen dessen gemäß diesem Anhang bestimmte Emissionen bei keiner gemäß diesem Anhang durchgeführten RDE-Prüfung folgende verbindliche Grenzwerte (NTE-Werte) überschreiten:

$$NTE_{\text{pollutant}} = CF_{\text{pollutant}} \times TF(p_1, \dots, p_n) \times \text{EURO-6},$$

dabei ist ‚Euro 6‘ der nach Anhang I Tabelle 2 der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 für Euro 6 geltende Emissionsgrenzwert.“

(2) Die folgenden Nummern 2.1.1, 2.1.2 und 2.1.3 werden eingefügt:

„2.1.1. Endgültige Übereinstimmungsfaktoren

Der Übereinstimmungsfaktor $CF_{\text{pollutant}}$ für den jeweiligen Schadstoff wird wie folgt festgelegt:

Schadstoff	Stickoxidmasse (NO _x)	Partikelzahl (P)	Masse des Kohlenmonoxids (CO) (1)	Masse der Kohlenwasserstoffe insgesamt (THC)	Summe der Massen der Kohlenwasserstoffe und der Stickstoffoxide (HC + NO _x)
$CF_{\text{pollutant}}$	1 + margin mit margin = 0,5	zu bestimmen	—	—	—

(1) Die CO-Emissionen sind bei RDE-Prüfungen zu messen und aufzuzeichnen.

„Toleranz“: ein Parameter, welcher die durch die PEMS-Ausrüstung hinzugekommenen zusätzlichen Messunsicherheiten berücksichtigt, die jährlich überprüft werden und nach einer Verbesserung der Qualität des PEMS-Verfahrens oder technischem Fortschritt zu revidieren sind.

2.1.2. Vorläufige Übereinstimmungsfaktoren

Abweichend von den Bestimmungen von Nummer 2.1.1 können auf Antrag des Herstellers bis zu fünf Jahre und vier Monate nach den in Artikel 10 Absätze 4 und 5 der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 angegebenen Daten folgende vorläufige Übereinstimmungsfaktoren angewandt werden:

Schadstoff	Stickoxidmasse (NO _x)	Partikelzahl (PN)	Masse des Kohlenmonoxids (CO) (1)	Masse der Kohlenwasserstoffe insgesamt (THC)	Summe der Massen der Kohlenwasserstoffe und der Stickstoffoxide (HC + NO _x)
$CF_{\text{pollutant}}$	2,1	zu bestimmen	—	—	—

(1) Die CO-Emissionen sind bei RDE-Prüfungen zu messen und aufzuzeichnen.

Die Anwendung vorläufiger Übereinstimmungsfaktoren ist in der Übereinstimmungsbescheinigung des Fahrzeugs zu vermerken.

2.1.3. Übertragungsfunktionen

Die Übertragungsfunktion $TF(p_1, \dots, p_n)$ gemäß Nummer 2.1 erhält für alle Parameter p_i ($i = 1, \dots, n$) den Wert 1.

Wird die Übertragungsfunktion $TF(p_1, \dots, p_n)$ geändert, so muss dies auf eine Weise erfolgen, die sich nicht nachteilig auf die Umwelt und auf die Wirksamkeit der RDE-Prüfverfahren auswirkt. Hierbei ist insbesondere folgende Bedingung einzuhalten:

$$\int TF(p_1, \dots, p_n) * Q(p_1, \dots, p_n) dp = \int Q(p_1, \dots, p_n) dp$$

Dabei gilt:

- dp ist das Integral über allen Parametern p_i ($i = 1, \dots, n$)
- $Q(p_1, \dots, p_n)$ ist die Wahrscheinlichkeitsdichte eines den Parametern entsprechenden Ereignisses p_i ($i = 1, \dots, n$) im praktischen Fahrbetrieb.“;

(3) es wird folgende Nummer 3.1.0 eingefügt:

„3.1.0 Die Anforderungen von Nummer 2.1 müssen im Stadtfahrzyklus und während der gesamten PEMS-Fahrt erfüllt werden. Nach Wahl des Herstellers sind die Bedingungen von mindestens einer der beiden nachstehenden Nummern zu erfüllen:

3.1.0.1 $M_{gas,d,t} \leq NTE_{pollutant}$ und $M_{gas,d,u} \leq NTE_{pollutant}$, wobei die Begriffsbestimmungen von Nummer 2.1 dieses Anhangs und der Nummern 6.1 und 6.3 von Anlage 5 sowie die Einstellung $gas = pollutant$ gelten.

3.1.0.2 $M_{w, gas, d} \leq NTE_{pollutant}$ und $M_{w, gas, d, U} \leq NTE_{pollutant}$, wobei die Begriffsbestimmungen von Nummer 2.1 dieses Anhangs und Nummer 3.9 von Anlage 6 sowie die Einstellung $gas = pollutant$ gelten.“;

(4) Nummer 5.3 wird gestrichen;

(5) Nummer 5.4 erhält folgende Fassung:

„5.4. Dynamische Bedingungen

Die dynamischen Bedingungen umfassen den Einfluss der Straßenneigung, des Gegenwindes, der Fahrdynamik (Beschleunigungen, Verzögerungen) sowie von Nebenverbrauchern auf Energieverbrauch und Emissionen des Prüffahrzeugs. Die Nachprüfung der Normalität der dynamischen Bedingungen erfolgt nach Abschluss der Prüfung anhand der aufgezeichneten PEMS-Daten. Diese Nachprüfung ist in 2 Schritten durchzuführen:

5.4.1. Ein Zuviel oder Zuwenig an Fahrdynamik während der Fahrt ist anhand der in Anlage 7a zu diesem Anhang beschriebenen Verfahren zu überprüfen.

5.4.2. Erweist sich die Fahrt im Zuge der Nachprüfungen gemäß Nummer 5.4.1 als gültig, müssen die in den Anlagen 5 und 6 zu diesem Anhang festgelegten Verfahren zur Nachprüfung der Normalität angewendet werden. Jedes Verfahren umfasst einen Bezugswert für die dynamischen Bedingungen, Spannen um den Bezugswert herum und die Anforderungen in Bezug auf den Bereich, der bei einer gültigen Prüfung mindestens erfasst werden muss.“;

(6) Nummer 6.8 erhält folgende Fassung:

„6.8. Beim städtischen Anteil der Fahrstrecke sollte die Durchschnittsgeschwindigkeit (unter Einrechnung der Haltezeiten) zwischen 15 km/h bis 40 km/h liegen. Die Haltezeiten, gekennzeichnet durch eine Fahrzeuggeschwindigkeit von weniger als 1 km/h, müssen 6-30 % der Gesamtdauer des Stadtbetriebs ausmachen. Der Stadtbetrieb muss mehrere Haltezeiten von mindestens 10 s umfassen. Beträgt eine Haltezeit mehr als 180 s, so sind die Emissionsereignisse der auf eine solche übermäßig lange Haltezeit folgenden 180 s von der Emissionsbewertung auszunehmen.“;

(7) unter Nummer 6.11 wird folgender Satz angefügt:

„Außerdem muss die proportionale kumulierte positive Höhendifferenz weniger als 1 200 m/100 km betragen und gemäß Anlage 7b ermittelt werden.“;

(8) Nummer 9.5 erhält folgende Fassung:

„9.5. Werden die Umgebungsbedingungen in einem bestimmten Zeitraum nach Nummer 5.2 erweitert, sind die für diesen bestimmten Zeitraum nach Anlage 4 berechneten Emissionen durch 1,6 zu dividieren, bevor sie im Hinblick auf die Einhaltung der Anforderungen dieses Anhangs bewertet werden.“;

(9) Anlage 1 wird wie folgt geändert:

a) unter Nummer 3.4.6 wird folgender Satz angefügt:

„Etwaige sicherheitsrelevante Beleuchtungseinrichtungen für Befestigungen und Anbauteile von PEMS-Bauteilen außerhalb des Führerhauses des Fahrzeugs dürfen durch die Fahrzeugbatterie mit Strom versorgt werden.“;

b) unter Nummer 4.5 wird folgender Satz angefügt:

„Um die Drift von Analysatoren zu minimieren, sollte die Kalibrierung des Nullpunkts und der Messbereichsgrenze von Analysatoren bei einer Umgebungstemperatur vorgenommen werden, die der Temperatur, der die Prüfausrüstung während der RDE-Fahrt ausgesetzt ist, möglichst nahe kommt.“;

(10) in Anlage 2 erhält die Fußnote 2 zur Tabelle 4 in Nummer 8 folgende Fassung:

„(2) Diese allgemeine Anforderung gilt nur für den Geschwindigkeitssensor; wenn die Fahrzeuggeschwindigkeit zur Bestimmung von Parametern wie der Beschleunigung, des Produkts aus Geschwindigkeit und positiver Beschleunigung oder des RPA-Werts (relative positive Beschleunigung) herangezogen wird, muss das Geschwindigkeitssignal über 3 km/h eine Genauigkeit von 0,1 % und eine Abtastfrequenz von 1 Hz aufweisen. Diese Genauigkeitsanforderung kann durch die Verwendung des Signals eines Raddrehzahlsensors eingehalten werden.“;

(11) in Anlage 6 Nummer 2 wird die folgende Begriffsbestimmung gestrichen:

„ a_i Tatsächliche Beschleunigung in Zeitschritt i , falls nicht in einer Gleichung anders festgelegt:

$$a_i = \frac{(v_{i+1} - v_i)}{3,6 \times (t_{i+1} - t_i)}, [\text{m/s}^2]“$$

(12) in Anlage 6 Nummer 2 werden folgende Begriffsbestimmungen eingefügt:

„ $\bar{m}_{\text{gas,U}}$ Gewichteter Emissionswert eines Abgasbestandteils ‚gas‘ in der Teilstichprobe aller Sekunden i mit $v_i < 60$ km/h in g/s

$M_{\text{w,gas,d,U}}$ Gewichtete streckenabhängige Emissionen des Abgasbestandteils ‚gas‘ in der Teilstichprobe aller Sekunden i mit $v_i < 60$ km/h in g/km

\bar{v}_U Gewichtete Fahrzeuggeschwindigkeit in der Radleistungsstufe j in km/h“;

(13) in Anlage 6 Nummer 3.1 erhält der erste Absatz folgende Fassung:

„Die tatsächliche Radleistung $P_{r,i}$ ist die Gesamtleistung zur Überwindung des Luftwiderstands, des Rollwiderstands, der Straßenneigungen, der Längsträgheit des Fahrzeugs und der Rotationsträgheit der Räder.“

(14) in Anlage 6 erhält Nummer 3.2 folgende Fassung:

„3.2 Einteilung der gleitenden Mittelwerte in Fahrten innerorts, außerorts und auf der Autobahn

Die Normleistungshäufigkeiten sind für den Stadtverkehr und die gesamte Fahrt festgelegt (siehe Nummer 3.4), und die Emissionen sind gesondert für die gesamte Fahrt und für den Teil ‚Stadt‘ auszuwerten. Die nach Nummer 3.3 berechneten gleitenden 3-Sekunden-Durchschnitte werden daher, wie in Tabelle 1-1 dargestellt, zu einem späteren Zeitpunkt gemäß dem Geschwindigkeitssignal (v_i) aus der tatsächlich gefahrenen Sekunde i innerstädtischen und außerstädtischen Fahrbedingungen zugeordnet.

Tabelle 1-1:

Geschwindigkeitsbereiche zur Zuordnung von Prüfdaten zu den Bedingungen für Fahrten innerorts, außerorts und auf der Autobahn im Zusammenhang mit der Methode der Einstufung in Leistungsklassen

	Stadt	Landstraße	Autobahn
v_i [km/h]	0 bis ≤ 60	> 60 bis ≤ 90	> 90

(15) in Anlage 6 erhält Nummer 3.9 folgende Fassung:

„3.9 Berechnung des gewichteten entfernungsabhängigen Emissionswerts

Die zeitabhängigen gewichteten Durchschnitte der Emissionen in der Prüfung werden einmal für den Stadt-Datensatz und einmal für den gesamten Datensatz wie folgt in entfernungsabhängige Emissionen umgewandelt:

$$\text{Für die gesamte Fahrt: } M_{w, \text{gas}, d} = 1\,000 \cdot \frac{\bar{m}_{\text{gas}} \times 3\,600}{\bar{v}}$$

$$\text{Für den Teil „Stadt“ der Fahrt: } M_{w, \text{gas}, d, U} = 1\,000 \cdot \frac{\bar{m}_{\text{gas}, U} \times 3\,600}{\bar{v}_U}$$

Mit diesen Formeln werden die gewichteten Durchschnitte für die folgenden Schadstoffe für die gesamte Fahrt und für den Teil ‚Stadt‘ berechnet:

$M_{w, \text{NO}_x, d}$ gewichtetes Ergebnis der Prüfung auf NO_x in [mg/km]

$M_{w, \text{NO}_x, d, U}$ gewichtetes Ergebnis der Prüfung auf NO_x in [mg/km]

$M_{w, \text{CO}, d}$ gewichtetes Ergebnis der Prüfung auf CO in [mg/km]

$M_{w, \text{CO}, d, U}$ gewichtetes Ergebnis der Prüfung auf CO in [mg/km]“;

(16) folgende Anlagen 7a und 7b werden eingefügt:

„Anlage 7a

Überprüfung der gesamten Fahrdynamik

1. EINLEITUNG

In dieser Anlage werden die Verfahren zur Überprüfung der gesamten Fahrdynamik beschrieben, mit denen ermittelt wird, ob insgesamt bei der Fahrt innerorts, außerorts und auf Autobahnen die Dynamik zu groß oder zu gering ist.

2. ZEICHEN

RPA Relative positive Beschleunigung

„Beschleunigungsauflösung a_{res} “ Mindestbeschleunigung > 0 gemessen in m/s^2

T4253H Glätter für zusammengesetzte Daten

„positive Beschleunigung a_{pos} “ Beschleunigung [m/s^2] von mehr als $0,1 \text{ m/s}^2$

Index (i) bezieht sich auf den Zeitschritt

Index (j) bezieht sich auf den Zeitschritt von Datensätzen zur positiven Beschleunigung

Index (k) bezieht sich auf die Kategorie (t = insgesamt (total), u = innerorts (urban), r = außerorts (rural), m = Autobahn (motorway))

Δ	— Differenz
$>$	— größer als
\geq	— größer gleich
$\%$	— Prozent
$<$	— kleiner als
\leq	— kleiner gleich
a	— Beschleunigung [m/s^2]
a_i	— Beschleunigung im Zeitschritt i [m/s^2]
a_{pos}	— positive Beschleunigung größer als $0,1 \text{ m/s}^2$ [m/s^2]
$a_{\text{pos},i,k}$	— positive Beschleunigung größer als $0,1 \text{ m/s}^2$ in Zeitschritt i unter Berücksichtigung der innerorts, außerorts und auf Autobahnen gefahrenen Anteile [m/s^2]
a_{res}	— Beschleunigungsauflösung [m/s^2]
d_i	— im Zeitschritt i zurückgelegte Strecke [m]
$d_{i,k}$	— im Zeitschritt i zurückgelegte Strecke [m] unter Berücksichtigung der innerorts, außerorts und auf Autobahnen gefahrenen Anteile
M_k	— Anteil der innerorts, außerorts und auf Autobahnen gefahrenen Stichproben mit einer positiven Beschleunigung größer als $0,1 \text{ m/s}^2$
N_k	— Gesamtzahl der Stichproben für die innerorts, außerorts und auf Autobahnen gefahrenen Anteile und für die gesamte Fahrt
RPA_k	— relative positive Beschleunigung für die innerorts, außerorts und auf Autobahnen gefahrenen Anteile [m/s^2 oder $\text{kWs}/(\text{kg} \times \text{km})$]
t_k	— Dauer der Stichproben für die innerorts, außerorts und auf Autobahnen gefahrenen Anteile und der gesamten Fahrt [s]
v	— Fahrzeuggeschwindigkeit [km/h]
v_i	— tatsächliche Fahrzeuggeschwindigkeit im Zeitschritt i [km/h]
$v_{i,k}$	— tatsächliche Fahrzeuggeschwindigkeit im Zeitschritt i unter Berücksichtigung der innerorts, außerorts und auf Autobahnen gefahrenen Anteile [km/h]
$(v \cdot a)_i$	— tatsächliche Fahrzeuggeschwindigkeit pro Beschleunigung im Zeitschritt i [m^2/s^3 oder W/kg]
$(v \cdot a_{\text{pos},j,k})$	— tatsächliche Fahrzeuggeschwindigkeit pro positiver Beschleunigung größer als $0,1 \text{ m/s}^2$ im Zeitschritt j unter Berücksichtigung der innerorts, außerorts und auf Autobahnen gefahrenen Anteile [m^2/s^3 oder W/kg]
$(v \cdot a_{\text{pos},k-}[95])$	— 95-Perzentil des Produkts der Fahrzeuggeschwindigkeit pro positiver Beschleunigung größer als $0,1 \text{ m/s}^2$ für innerorts, außerorts und auf Autobahnen gefahrene Anteile [m^2/s^3 oder W/kg]
\bar{v}_k	— durchschnittliche Fahrzeuggeschwindigkeit für innerorts, außerorts und auf Autobahnen gefahrene Anteile [km/h]

3. FAHRTINDIKATOREN

3.1. Berechnungen

3.1.1. Vorverarbeitung der Daten

Dynamische Parameter wie Beschleunigung, $v \cdot a_{\text{pos}}$ oder RPA werden mittels eines Geschwindigkeitssignals mit einer Genauigkeit von 0,1 % über 3 km/h und einer Abtastfrequenz von 1 Hz ermittelt. Diese Genauigkeitsanforderung wird in der Regel durch (Dreh-)geschwindigkeitssignale des Rades erfüllt.

Die Geschwindigkeitskurve ist auf fehlerhafte oder unplausible Abschnitte zu prüfen. Die Fahrzeuggeschwindigkeitskurve solcher Abschnitte ist durch Schritte, Sprünge, terrassenförmige Kurven oder fehlende Werte gekennzeichnet. Kurze fehlerhafte Abschnitte sind zu korrigieren, beispielsweise durch Interpolation von Daten oder Vergleich mit einem sekundären Geschwindigkeitssignal. Wahlweise können kurze Fahrten mit fehlerhaften Abschnitten von der anschließenden Datenanalyse ausgeschlossen werden. In einem zweiten Schritt werden die Werte der Beschleunigung in aufsteigender Reihenfolge geordnet, um die Beschleunigungsauflösung a_{res} = zu ermitteln (Mindestbeschleunigungswert > 0).

Wenn $a_{\text{res}} \leq 0,01 \text{ m/s}^2$, ist die Messung der Fahrzeuggeschwindigkeit ausreichend genau.

Wenn $0,01 < a_{\text{res}} \leq r_{\text{max}} \text{ m/s}^2$, dann Glättung durch Verwendung eines T4253-Hanning-Filters.

Wenn $a_{\text{res}} > r_{\text{max}} \text{ m/s}^2$, ist die Fahrt ungültig.

Der T4253-Hanning-Filter nimmt die folgenden Berechnungen vor: Der Glätter beginnt mit einem gleitenden Median von 4, der um einen gleitenden Median von 2 herum zentriert ist. Danach werden die Werte durch die Verwendung eines gleitenden Medians von 5 und eines gleitenden Medians von 3 sowie eines Hanning-Filters erneut geglättet (gleitende gewichtete Durchschnittswerte). Die Rückstände werden berechnet, indem die geglättete Serie von der ursprünglichen Serie abgezogen wird. Das gesamte Verfahren wird dann mit den errechneten Rückständen wiederholt. Schließlich werden die geglätteten Rückstände errechnet, indem die bei der ersten Anwendung des Verfahrens erhaltenen geglätteten Werte abgezogen werden.

Die korrekte Geschwindigkeitskurve dient als Ausgangspunkt für weitere Berechnungen und das Binning gemäß Absatz 3.1.2.

3.1.2. Berechnung von Strecke, Beschleunigung und $v \cdot a$

Die folgenden Berechnungen sind über die gesamte zeitbasierte Geschwindigkeitskurve (Auflösung von 1 Hz) von Sekunde 1 bis Sekunde t_i (letzte Sekunde) vorzunehmen.

Die Vergrößerung der Strecke pro Datensatz ist wie folgt zu berechnen:

$$d_i = v_i / 3,6, \quad i = 1 \text{ bis } N_i$$

Dabei gilt:

d_i ist die im Zeitschritt i zurückgelegte Strecke [m].

v_i ist die tatsächliche Fahrzeuggeschwindigkeit im Zeitschritt i [km/h].

N_i ist die Gesamtzahl der Stichproben.

Die Beschleunigung ist wie folgt zu berechnen:

$$a_i = (v_{i+1} - v_{i-1}) / (2 \cdot 3,6), \quad i = 1 \text{ bis } N_i$$

Dabei gilt:

a_i ist die Beschleunigung im Zeitschritt i [m/s^2]. Für $i = 1$: $v_{i-1} = 0$, für $i = N_i$: $v_{i+1} = 0$.

Das Produkt der Fahrzeuggeschwindigkeit pro Beschleunigung ist wie folgt zu berechnen:

$$(v \cdot a)_i = v_i \cdot a_i / 3,6, \quad i = 1 \text{ bis } N_i$$

Dabei gilt:

$(v \cdot a)_i$ ist das Produkt der tatsächlichen Fahrzeuggeschwindigkeit pro Beschleunigung im Zeitschritt i [m^2/s^3 oder W/kg]

3.1.3. Binning der Ergebnisse

Nach der Berechnung von a_i und $(v \cdot a)_i$ sind die Werte v_i , d_i , a_i und $(v \cdot a)_i$ in aufsteigender Reihenfolge der Fahrzeuggeschwindigkeit zu ordnen.

Alle Datensätze mit $v_i \leq 60 \text{ km/h}$ gehören zum Intervall ‚Geschwindigkeit innerorts‘, alle Datensätze mit $60 \text{ km/h} < v_i \leq 90 \text{ km/h}$ gehören zum Intervall ‚Geschwindigkeit außerorts‘ und alle Datensätze mit $v_i > 90 \text{ km/h}$ gehören zum Intervall ‚Geschwindigkeit auf der Autobahn‘.

Die Anzahl der Datensätze mit $a_i > 0,1 \text{ m/s}^2$ muss in jedem Geschwindigkeitsintervall größer oder gleich 150 sein.

Für jedes Geschwindigkeitsintervall muss die durchschnittliche Fahrzeuggeschwindigkeit \bar{v}_k wie folgt berechnet werden:

$$\bar{v}_k = \left(\sum_i v_{i,k} \right) / N_k, \quad i = 1 \text{ bis } N_k, k = u, r, m$$

Dabei gilt:

N_k ist die Gesamtzahl der Stichproben für die innerorts, außerorts und auf Autobahnen gefahrenen Anteile

3.1.4. Berechnung von $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ pro Geschwindigkeitsintervall

Das 95-Perzentil der Werte von $v \cdot a_{\text{pos}}$ ist wie folgt zu berechnen:

Die Werte $(v \cdot a)_{i,k}$ innerhalb jedes Geschwindigkeitsintervalls sind für alle Datensätze mit $a_{i,k} \geq 0,1 \text{ m/s}^2$ in aufsteigender Reihenfolge zu ordnen und die Gesamtzahl dieser Stichproben M_k ist zu ermitteln.

Dann werden die Perzentilwerte den Werten $(v \cdot a_{\text{pos}})_{j,k}$ mit $a_{i,k} \geq 0,1 \text{ m/s}^2$ wie folgt zugeordnet:

Der niedrigste Wert $v \cdot a_{\text{pos}}$ erhält das Perzentil $1/M_k$, der zweitniedrigste das Perzentil $2/M_k$, der drittniedrigste das Perzentil $3/M_k$ und der höchste das Perzentil $M_k/M_k = 100 \%$.

$(v \cdot a_{\text{pos}})_{k-}[95]$ ist der Wert $(v \cdot a_{\text{pos}})_{j,k}$ mit $j/M_k = 95 \%$. Wenn $j/M_k = 95 \%$ nicht erreicht/eingehalten werden kann, ist $(v \cdot a_{\text{pos}})_{k-}[95]$ durch lineare Interpolation zwischen den aufeinander folgenden Stichproben j und $j + 1$ bei $j/M_k < 95 \%$ und $(j + 1)/M_k > 95 \%$ zu berechnen.

Die relative positive Beschleunigung für jedes Geschwindigkeitsintervall ist wie folgt zu berechnen:

$$RPA_k = \sum_j (\Delta t \cdot (v \cdot a_{\text{pos}})_{j,k}) / \sum_i d_{i,k}, \quad j = 1 \text{ bis } M_k, i = 1 \text{ bis } N_k, k = u, r, m$$

Dabei gilt:

RPA_k ist die relative positive Beschleunigung für die innerorts, außerorts und auf Autobahnen gefahrenen Anteile [m/s^2 oder $\text{kWs}/(\text{kg} \cdot \text{km})$]

Δt ist der Zeitunterschied gleich 1 Sekunde

M_k ist die Anzahl der innerorts, außerorts und auf Autobahnen gefahrenen Stichproben mit positiver Beschleunigung

N_k ist die Gesamtzahl der Stichproben für die innerorts, außerorts und auf Autobahnen gefahrenen Anteile

4. ÜBERPRÜFUNG DER GÜLTIGKEIT EINER FAHRT

4.1.1. Überprüfung von $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ pro Geschwindigkeitsintervall (bei v in $[\text{km/h}]$)

Wenn $\bar{v}_k \leq 74,6 \text{ km/h}$

und

$$(v \cdot a_{\text{pos}})_{k-}[95] > (0,136 \cdot \bar{v}_k + 14,44)$$

zutreffen, ist die Fahrt ungültig.

Wenn $\bar{v}_k > 74,6 \text{ km/h}$ und $(v \cdot a_{\text{pos}})_{k-}[95] > (0,0742 \cdot \bar{v}_k + 18,966)$ zutreffen, ist die Fahrt ungültig.

4.1.2. Überprüfung der RPA pro Geschwindigkeitsintervall

Wenn $\bar{v}_k \leq 94,05 \text{ km/h}$ und $RPA_k < (-0,0016 \cdot \bar{v}_k + 0,1755)$ zutreffen, ist die Fahrt ungültig.

Wenn $\bar{v}_k > 94,05 \text{ km/h}$ und $RPA_k < 0,025$ zutreffen, ist die Fahrt ungültig.

Anlage 7b

Verfahren zur Ermittlung des kumulierten positiven Höhenunterschieds einer Fahrt

1. EINLEITUNG

In diesem Anhang wird das Verfahren zur Bestimmung der Höhe des kumulierten positiven Höhenunterschieds einer RDE-Fahrt beschrieben.

2. ZEICHEN

$d(0)$	— Strecke zu Beginn einer Fahrt [m]
d	— an einer betrachteten diskreten Wegmarke zurückgelegte kumulierte Strecke [m]
d_0	— bis zur Messung unmittelbar vor der entsprechenden Wegmarke zurückgelegte kumulierte Strecke d [m]
d_1	— bis zur Messung unmittelbar nach der entsprechenden Wegmarke zurückgelegte kumulierte Strecke d [m]
d_a	— Bezugs-Wegmarke $d(0)$ [m]
d_e	— zurückgelegte kumulierte Strecke bis zur letzten diskreten Wegmarke [m]
d_i	— momentane Strecke [m]
d_{tot}	— Gesamtprüfstrecke [m]
$h(0)$	— Höhenlage des Fahrzeugs nach Kontrolle der Datenqualität und Überprüfung des Prinzips der Datenqualität bei Beginn der Fahrt [m über dem Meeresspiegel]
$h(t)$	— Höhenlage des Fahrzeugs nach Kontrolle der Datenqualität und Überprüfung des Prinzips der Datenqualität bei Wegmarke t [m über dem Meeresspiegel]
$h(d)$	— Höhenlage des Fahrzeugs bei Wegmarke d [m über dem Meeresspiegel]
$h(t-1)$	— Höhenlage des Fahrzeugs nach Kontrolle der Datenqualität und Überprüfung des Prinzips der Datenqualität bei Wegmarke $t-1$ [m über dem Meeresspiegel]
$h_{\text{corr}}(0)$	— korrigierte Höhenlage des Fahrzeugs unmittelbar vor der entsprechenden Wegmarke d [m über dem Meeresspiegel]
$h_{\text{corr}}(1)$	— korrigierte Höhenlage des Fahrzeugs unmittelbar nach der entsprechenden Wegmarke d [m über dem Meeresspiegel]
$h_{\text{corr}}(t)$	— korrigierte momentane Fahrzeughöhe beim Datenpunkt t [m über dem Meeresspiegel]
$h_{\text{corr}}(t-1)$	— korrigierte momentane Fahrzeughöhe beim Datenpunkt $t-1$ [m über dem Meeresspiegel]
$h_{\text{GPS},i}$	— korrigierte momentane Fahrzeughöhe, mit GPS gemessen [m über dem Meeresspiegel]
$h_{\text{GPS}}(t)$	— momentane Fahrzeughöhe, mit GPS gemessen, am Datenpunkt t [m über dem Meeresspiegel]
$h_{\text{int}}(d)$	— interpolierte Höhenlage des Fahrzeugs bei der betrachteten diskreten Wegmarke d [m über dem Meeresspiegel]
$h_{\text{int,sm},1}(d)$	— geglättete interpolierte Höhenlage des Fahrzeugs nach der ersten Glättung bei der betrachteten diskreten Wegmarke d [m über dem Meeresspiegel]
$h_{\text{map}}(t)$	— Fahrzeughöhe am Datenpunkt t anhand topografischer Karte [m über dem Meeresspiegel]
Hz	— Hertz
km/h	— Kilometer pro Stunde
m	— Meter

$road_{grade,1}(d)$	— geglättete Straßenneigung bei der betrachteten diskreten Wegmarke d nach der ersten Glättung [m/m]
$road_{grade,2}(d)$	— geglättete Straßenneigung bei der betrachteten diskreten Wegmarke d nach der zweiten Glättung [m/m]
\sin	— trigonometrische Sinusfunktion
t	— seit Prüfbeginn vergangene Zeit [s]
t_0	— bei dem unmittelbar vor der entsprechenden Wegmarke d liegenden Messpunkt vergangene Zeit [s]
v_i	— momentane Fahrzeuggeschwindigkeit [km/h]
$v(t)$	— Fahrzeuggeschwindigkeit des Datenpunkts t [km/h]

3. ALLGEMEINE ANFORDERUNGEN

Der kumulierte positive Höhenunterschied einer RDE-Fahrt wird anhand von drei Parametern ermittelt: der korrigierten momentanen Fahrzeughöhe $h_{GPS,i}$ [m über dem Meeresspiegel], mit GPS gemessen, der momentanen Fahrzeuggeschwindigkeit v_i [km/h], aufgezeichnet mit einer Frequenz von 1 Hz, und der entsprechenden seit Prüfbeginn vergangenen Zeit t [s].

4. BERECHNUNG DES KUMULIERTEN POSITIVEN HÖHENUNTERSCHIEDS

4.1. Allgemeines

Der kumulierte positive Höhenunterschied einer RDE-Fahrt wird durch ein dreistufiges Verfahren wie folgt berechnet: i) Kontrolle der Datenqualität und grundsätzliche Überprüfung der Datenqualität, ii) Korrektur der momentanen Fahrzeughöhendaten und iii) Berechnung des kumulierten positiven Höhenunterschieds.

4.2. Kontrolle und grundsätzliche Überprüfung der Datenqualität

Die Daten zur momentanen Fahrzeuggeschwindigkeit sind auf Vollständigkeit zu prüfen. Die Korrektur von fehlenden Daten ist zulässig, wenn Lücken innerhalb der Anforderungen nach Nummer 7 der Anlage 4 bleiben; andernfalls sind die Prüfergebnisse für ungültig zu erklären. Die Daten zur momentanen Fahrzeughöhe sind auf Vollständigkeit zu prüfen. Datenlücken sind durch Dateninterpolation zu füllen. Die Richtigkeit der interpolierten Daten ist anhand einer topografischen Karte zu überprüfen. Es wird empfohlen, interpolierte Daten zu korrigieren, wenn folgende Bedingung zutrifft:

$$|h_{GPS}(t) - h_{map}(t)| > 40 \text{ m}$$

Die Höhenkorrektur ist wie folgt anzuwenden:

$$h(t) = h_{map}(t)$$

Dabei gilt:

$h(t)$	— Höhenlage des Fahrzeugs nach Kontrolle und grundsätzlicher Überprüfung der Datenqualität bei Datenpunkt t [m über dem Meeresspiegel]
$h_{GPS}(t)$	— momentane Fahrzeughöhe, mit GPS gemessen, am Datenpunkt t [m über dem Meeresspiegel]
$h_{map}(t)$	— Fahrzeughöhe am Datenpunkt t anhand topografischer Karte [m über dem Meeresspiegel]

4.3. Korrektur der momentanen Fahrzeughöhendaten

Die Höhe $h(0)$ bei Beginn der Fahrt bei $d(0)$ ist per GPS zu ermitteln und anhand einer topografischen Karte auf Richtigkeit zu überprüfen. Die Abweichung darf nicht größer als 40 m sein. Alle Daten zur momentanen Fahrzeughöhe $h(t)$ sind zu korrigieren, wenn folgende Bedingung zutrifft:

$$|h(t) - h(t-1)| > (v(t)/3,6 * \sin 45^\circ)$$

Die Höhenkorrektur ist wie folgt anzuwenden:

$$h_{corr}(t) = h_{corr}(t-1)$$

Dabei gilt:

$h(t)$ — Höhenlage des Fahrzeugs nach Kontrolle und grundsätzlicher Überprüfung der Datenqualität bei Datenpunkt t [m über dem Meeresspiegel]

$h(t-1)$ — Höhenlage des Fahrzeugs nach Kontrolle und grundsätzlicher Überprüfung der Datenqualität bei Datenpunkt $t-1$ [m über dem Meeresspiegel]

$v(t)$ — Fahrzeuggeschwindigkeit des Datenpunkts t [km/h]

$h_{corr}(t)$ — korrigierte momentane Fahrzeughöhe beim Datenpunkt t [m über dem Meeresspiegel]

$h_{corr}(t-1)$ — korrigierte momentane Fahrzeughöhe beim Datenpunkt $t-1$ [m über dem Meeresspiegel]

Nach Abschluss des Korrekturverfahrens wird ein geeigneter Satz von Höhendaten erstellt. Dieser Datensatz wird für die endgültige Berechnung des kumulierten positiven Höhenunterschieds gemäß Nummer 4.4 verwendet.

4.4. Endgültige Berechnung des kumulierten positiven Höhenunterschieds

4.4.1. Festlegung einer einheitlichen räumlichen Auflösung

Die während einer Fahrt zurückgelegte Gesamtstrecke d_{tot} [m] ist als Summe der momentanen Strecken d_i zu ermitteln. Die momentane Strecke d_i ist zu ermitteln als:

$$d_i = \frac{v_i}{3,6}$$

Dabei gilt:

d_i — momentane Strecke [m]

v_i — momentane Fahrzeuggeschwindigkeit [km/h]

Der kumulierte positive Höhenunterschied ist anhand von Daten mit einer konstanten räumlichen Auflösung von 1 m, beginnend mit der ersten Messung bei Beginn einer Fahrt $d(0)$ zu errechnen. Die diskreten Datenpunkte bei einer Auflösung von 1 m gelten als Wegmarken und werden durch einen bestimmten Streckenwert d (z. B. 0, 1, 2, 3 m...) und die ihm entsprechende Höhe $h(d)$ [m über dem Meeresspiegel] definiert.

Die Höhe jeder diskreten Wegmarke d ist durch Interpolation der momentanen Höhe $h_{corr}(t)$ wie folgt zu berechnen:

$$h_{int}(d) = h_{corr}(0) + \frac{h_{corr}(1) - h_{corr}(0)}{d_1 - d_0} \cdot (d - d_0)$$

Dabei gilt:

$h_{int}(d)$ — interpolierte Höhenlage des Fahrzeugs bei der betrachteten diskreten Wegmarke d [m über dem Meeresspiegel]

$h_{corr}(0)$ — korrigierte Höhenlage des Fahrzeugs unmittelbar vor der entsprechenden Wegmarke d [m über dem Meeresspiegel]

$h_{corr}(1)$ — korrigierte Höhenlage des Fahrzeugs unmittelbar nach der entsprechenden Wegmarke d [m über dem Meeresspiegel]

d — bis zum Erreichen der betrachteten diskreten Wegmarke zurückgelegte kumulierte Strecke d [m]

- d_0 — bis zum unmittelbar vor der entsprechenden Wegmarke gelegenen Messpunkt zurückgelegte kumulierte Strecke d [m]
- d_1 — bis zum unmittelbar nach der entsprechenden Wegmarke gelegenen Messpunkt zurückgelegte kumulierte Strecke d [m]

4.4.2. Zusätzliche Datenglättung

Die für jede diskrete Wegmarke erhaltenen Höhendaten sind mittels eines zweistufigen Verfahrens zu glätten; d_a und d_e bezeichnen den ersten beziehungsweise letzten Datenpunkt (Abbildung 1). Die erste Glättung ist wie folgt anzuwenden:

$$\begin{aligned} road_{grade,1}(d) &= \frac{h_{int}(d + 200 \text{ m}) - h_{int}(d_a)}{(d + 200 \text{ m})} \text{ für } d \leq 200 \text{ m} \\ road_{grade,1}(d) &= \frac{h_{int}(d + 200 \text{ m}) - h_{int}(d - 200 \text{ m})}{(d + 200 \text{ m}) - (d - 200 \text{ m})} \text{ für } 200 \text{ m} < d < (d_e - 200 \text{ m}) \\ road_{grade,1}(d) &= \frac{h_{int}(d_e) - h_{int}(d - 200 \text{ m})}{d_e - (d - 200 \text{ m})} \text{ für } d \geq (d_e - 200 \text{ m}) \\ h_{int,sm,1}(d) &= h_{int,sm,1}(d - 1 \text{ m}) + road_{grade,1}(d), \quad d = d_a + 1 \text{ to } d_e \\ h_{int,sm,1}(d_a) &= h_{int}(d_a) + road_{grade,1}(d_a) \end{aligned}$$

Dabei gilt:

- $road_{grade,1}(d)$ — geglättete Straßenneigung bei der betrachteten diskreten Wegmarke d nach der ersten Glättung [m/m]
- $h_{int}(d)$ — interpolierte Höhenlage des Fahrzeugs bei der betrachteten diskreten Wegmarke d [m über dem Meeresspiegel]
- $h_{int,sm,1}(d)$ — geglättete interpolierte Höhenlage des Fahrzeugs nach der ersten Glättung bei der betrachteten diskreten Wegmarke d [m über dem Meeresspiegel]
- d — an einem betrachteten bestimmten Streckenabschnitt zurückgelegte kumulierte Entfernung [m]
- d_a — Bezugs-Wegmarke bei einer Strecke von null Metern [m]
- d_e — zurückgelegte kumulierte Strecke bis zur letzten diskreten Wegmarke [m]

Die zweite Glättung ist wie folgt anzuwenden:

$$\begin{aligned} road_{grade,2}(d) &= \frac{h_{int,sm,1}(d + 200 \text{ m}) - h_{int,sm,1}(d_a)}{(d + 200 \text{ m})} \text{ für } d \leq 200 \text{ m} \\ road_{grade,2}(d) &= \frac{h_{int,sm,1}(d + 200 \text{ m}) - h_{int,sm,1}(d - 200 \text{ m})}{(d + 200 \text{ m}) - (d - 200 \text{ m})} \text{ für } 200 \text{ m} < d < (d_e - 200 \text{ m}) \\ road_{grade,2}(d) &= \frac{h_{int,sm,1}(d_e) - h_{int,sm,1}(d - 200 \text{ m})}{d_e - (d - 200 \text{ m})} \text{ für } d \geq (d_e - 200 \text{ m}) \end{aligned}$$

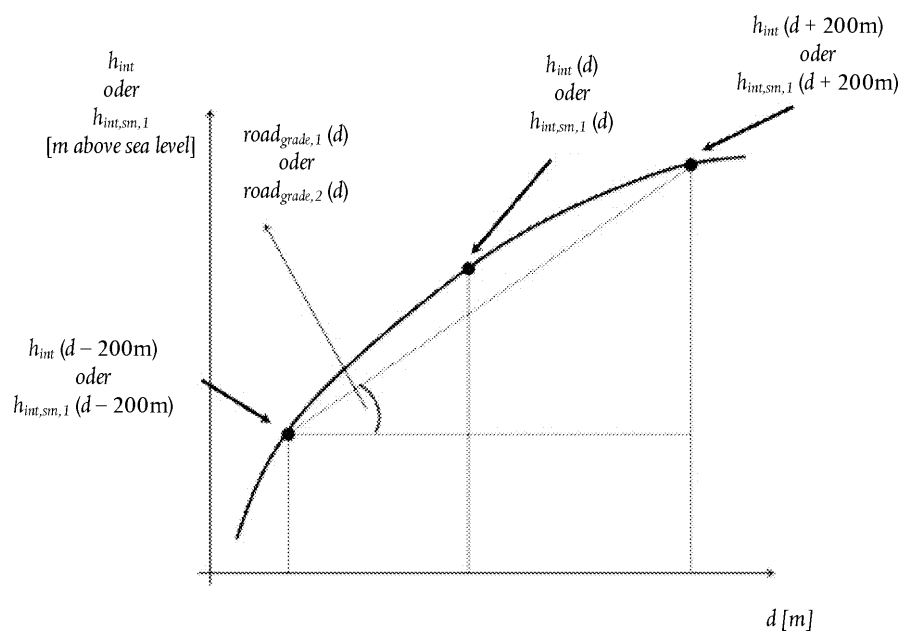
Dabei gilt:

- $road_{grade,2}(d)$ — geglättete Straßenneigung bei der betrachteten diskreten Wegmarke d nach der zweiten Glättung [m/m]
- $h_{int,sm,1}(d)$ — geglättete interpolierte Höhenlage des Fahrzeugs nach der ersten Glättung bei der betrachteten diskreten Wegmarke d [m über dem Meeresspiegel]

- d — an einer betrachteten diskreten Wegmarke zurückgelegte kumulierte Strecke [m]
- d_a — Bezugs-Wegmarke bei einer Strecke von null Metern [m]
- d_e — zurückgelegte kumulierte Strecke bis zur letzten diskreten Wegmarke [m]

Abbildung 1

Darstellung des Verfahrens zur Glättung der interpolierten Höhenlagensignale



4.4.3. Berechnung des Endergebnisses

Der kumulierte positive Höhenunterschied einer Fahrt wird durch Integration aller positiven interpolierten und geglätteten Straßenneigungen berechnet, d. h. $road_{grade,2}(d)$. Das Ergebnis sollte anhand der Gesamtprüfstrecke d_{tot} normalisiert und in kumulierten Höhenmetern je einhundert Kilometer Strecke ausgedrückt werden.

5. ZAHLENBEISPIEL

In den Tabellen 1 und 2 werden die Schritte gezeigt, die vorgenommen werden, um anhand der während einer PEMS-Prüfung auf der Straße gewonnenen Daten den positiven Höhenunterschied zu berechnen. Der Kürze halber wird hier ein Auszug von 800 m und 160 s vorgestellt.

5.1. Kontrolle und grundsätzliche Überprüfung der Datenqualität

Die Kontrolle und grundsätzliche Überprüfung der Datenqualität erfolgt in zwei Schritten. Zuerst werden die Fahrzeuggeschwindigkeitsdaten auf Vollständigkeit überprüft. In dem vorliegenden Datensatz werden keine Lücken hinsichtlich der Fahrzeuggeschwindigkeit entdeckt (siehe Tabelle 1). Als zweites werden die Höhendaten auf Vollständigkeit geprüft; in der Stichprobe fehlen die Höhendaten zu Sekunden 2 und 3. Die Lücken werden gefüllt, indem das GPS-Signal interpoliert wird. Darüber hinaus wird die GPS-Höhe anhand einer topographischen Karte überprüft; diese Prüfung umfasst die Höhe $h(0)$ zu Beginn der Fahrt. Höhendaten für die Sekunden 112-114 werden auf der Grundlage der topografischen Karte berichtigt, damit folgende Bedingung erfüllt wird:

$$h_{GPS}(t) - h_{map}(t) < -40 \text{ m}$$

Nach Durchführung der Datenüberprüfung erhält man die Daten in der fünften Spalte $h(t)$.

5.2. Korrektur der momentanen Fahrzeughöhendaten

Im nächsten Schritt werden die Höhendaten $h(t)$ der Sekunden 1 bis 4, 111 bis 112 und 159 bis 160 unter Annahme der Höhenwerte der Sekunden 0, 110 beziehungsweise 158 korrigiert, da folgende Bedingung gilt:

$$|h(t) - h(t - 1)| > (v(t)/3,6 * \sin 45^\circ)$$

Nach Durchführung der Datenkorrektur erhält man die Daten $h_{\text{corr}}(t)$ in der sechsten Spalte. Die Auswirkungen der angewandten Überprüfungs- und Korrekturmaßnahmen an den Höhendaten werden in Abbildung 2 dargestellt.

5.3. Berechnung des kumulierten positiven Höhenunterschieds

5.3.1. Festlegung einer einheitlichen räumlichen Auflösung

Die momentane Strecke d_i wird berechnet, indem die in km/h gemessene momentane Fahrzeuggeschwindigkeit durch 3,6 geteilt wird (Spalte 7 in Tabelle 1). Die Höhendaten werden neu berechnet, um eine gleichmäßige räumliche Auflösung von 1 m zu erhalten; so ergeben sich diskrete Wegmarken d (Spalte 1 in Tabelle 2) mit den entsprechenden Höhenwerten $h_{\text{int}}(d)$ (Spalte 7 in Tabelle 2). Die Höhe jeder diskreten Wegmarke d ist durch Interpolation der momentanen Höhe $h_{\text{corr}}(t)$ wie folgt zu berechnen:

$$h_{\text{int}}(0) = 120,3 + \frac{120,3 - 120,3}{0,1 - 0,0} \cdot (0 - 0) = 120,3000$$

$$h_{\text{int}}(520) = 132,5 + \frac{132,6 - 132,5}{523,6 - 519,9} \cdot (520 - 519,9) = 132,5027$$

5.3.2. Zusätzliche Datenglättung

In Tabelle 2 sind die erste und die letzte diskrete Wegmarke folgende: $d_a = 0$ m beziehungsweise $d_e = 799$ m. Die Höhendaten einer jeden diskreten Wegmarke sind mittels eines zweistufigen Verfahrens zu glätten. Die erste Glättung besteht aus:

$$road_{\text{grade},1}(0) = \frac{h_{\text{int}}(200 \text{ m}) - h_{\text{int}}(0)}{(0 + 200 \text{ m})} = \frac{120,9682 - 120,3000}{200} = 0,0033$$

ausgewählt zum Nachweis der Glättung für $d \leq 200\text{m}$

$$road_{\text{grade},1}(320) = \frac{h_{\text{int}}(520) - h_{\text{int}}(120)}{(520) - (120)} = \frac{132,5027 - 121,9808}{400} = 0,0288$$

ausgewählt zum Nachweis der Glättung für $200\text{m} < d < (599\text{m})$

$$road_{\text{grade},1}(720) = \frac{h_{\text{int}}(799) - h_{\text{int}}(520)}{799 - (520)} = \frac{121,2000 - 132,5027}{279} = -0,0405$$

ausgewählt zum Nachweis der Glättung für $d \geq (599\text{m})$

Die geglättete und interpolierte Höhe wird wie folgt berechnet:

$$h_{\text{int},sm,1}(0) = h_{\text{int}}(0) + road_{\text{grade},1}(0) = 120,3 + 0,0033 \approx 120,3033 \text{ m}$$

$$h_{\text{int},sm,1}(799) = h_{\text{int},sm,1}(798) + road_{\text{grade},1}(799) = 121,2550 - 0,0220 = 121,2330 \text{ m}$$

Zweite Glättung:

$$road_{\text{grade},2}(0) = \frac{h_{\text{int},sm,1}(200) - h_{\text{int},sm,1}(0)}{(200)} = \frac{119,9618 - 120,3033}{(200)} = -0,0017$$

ausgewählt zum Nachweis der Glättung für $d \leq 200\text{m}$

$$road_{grade,2}(320) = \frac{h_{int,sm,1}(520) - h_{int,sm,1}(120)}{(520) - (120)} = \frac{123,6809 - 120,1843}{400} = 0,0087$$

ausgewählt zum Nachweis der Glättung für $200m < d < (599)$

$$road_{grade,2}(720) = \frac{h_{int,sm,1}(799) - h_{int,sm,1}(520)}{799 - (520)} = \frac{121,2330 - 123,6809}{279} = -0,0088$$

ausgewählt zum Nachweis der Glättung für $d \geq (599m)$

5.3.3. Berechnung des Endergebnisses

Der kumulierte positive Höhenunterschied einer Fahrt wird durch Integration aller positiven interpolierten und geglätteten Straßenneigungen berechnet, d. h. $road_{grade,2}(d)$. Im dargestellten Beispiel war die gesamte zurückgelegte Strecke $d_{tot} = 139,7$ km und alle positiven interpolierten und geglätteten Straßenneigungen beliefen sich auf 516 m. Somit ergab sich ein kumulierter positiver Höhenunterschied von $516 \times 100/139,7 = 370$ m/100 km.

Tabelle 1

Korrektur der momentanen Fahrzeughöhendaten

Zeit t [s]	$v(t)$ [km/h]	$h_{GPS}(t)$ [m]	$h_{map}(t)$ [m]	$h(t)$ [m]	$h_{corr}(t)$ [m]	d_i [m]	Cum. d [m]
0	0,00	122,7	129,0	122,7	122,7	0,0	0,0
1	0,00	122,8	129,0	122,8	122,7	0,0	0,0
2	0,00	-	129,1	123,6	122,7	0,0	0,0
3	0,00	-	129,2	124,3	122,7	0,0	0,0
4	0,00	125,1	129,0	125,1	122,7	0,0	0,0
...
18	0,00	120,2	129,4	120,2	120,2	0,0	0,0
19	0,32	120,2	129,4	120,2	120,2	0,1	0,1
...
37	24,31	120,9	132,7	120,9	120,9	6,8	117,9
38	28,18	121,2	133,0	121,2	121,2	7,8	125,7
...
46	13,52	121,4	131,9	121,4	121,4	3,8	193,4
47	38,48	120,7	131,5	120,7	120,7	10,7	204,1
...
56	42,67	119,8	125,2	119,8	119,8	11,9	308,4
57	41,70	119,7	124,8	119,7	119,7	11,6	320,0
...
110	10,95	125,2	132,2	125,2	125,2	3,0	509,0
111	11,75	100,8	132,3	100,8	125,2	3,3	512,2

Zeit t [s]	$v(t)$ [km/h]	$h_{GPS}(t)$ [m]	$h_{map}(t)$ [m]	$h(t)$ [m]	$h_{corr}(t)$ [m]	d_i [m]	Cum. d [m]
112	13,52	0,0	132,4	132,4	125,2	3,8	516,0
113	14,01	0,0	132,5	132,5	132,5	3,9	519,9
114	13,36	24,30	132,6	132,6	132,6	3,7	523,6
...	
149	39,93	123,6	129,6	123,6	123,6	11,1	719,2
150	39,61	123,4	129,5	123,4	123,4	11,0	730,2
...	
157	14,81	121,3	126,1	121,3	121,3	4,1	792,1
158	14,19	121,2	126,2	121,2	121,2	3,9	796,1
159	10,00	128,5	126,1	128,5	121,2	2,8	798,8
160	4,10	130,6	126,0	130,6	121,2	1,2	800,0

- bezeichnet Datenlücken

Tabelle 2

Berechnung der Straßenneigung

d [m]	t_0 [s]	d_0 [m]	d_1 [m]	h_0 [m]	h_1 [m]	$h_m(d)$ [m]	$road_{grade,1}^d(d)$ [m/m]	$h_{int,sm,1}(d)$ [m]	$road_{grade,2}^d(d)$ [m/m]
0	18	0,0	0,1	120,3	120,4	120,3	0,0035	120,3	- 0,0015
...
120	37	117,9	125,7	120,9	121,2	121,0	- 0,0019	120,2	0,0035
...
200	46	193,4	204,1	121,4	120,7	121,0	- 0,0040	120,0	0,0051
...
320	56	308,4	320,0	119,8	119,7	119,7	0,0288	121,4	0,0088
...
520	113	519,9	523,6	132,5	132,6	132,5	0,0097	123,7	0,0037
...
720	149	719,2	730,2	123,6	123,4	123,6	- 0,0405	122,9	- 0,0086
...
798	158	796,1	798,8	121,2	121,2	121,2	- 0,0219	121,3	- 0,0151
799	159	798,8	800,0	121,2	121,2	121,2	- 0,0220	121,3	- 0,0152

Abbildung 2

Auswirkung der Datenüberprüfung und -korrektur — Mit GPS gemessenes Höhenprofil $h_{GPS}(t)$, Höhenprofil anhand topografischer Karte $h_{map}(t)$, nach Kontrolle und grundsätzlicher Überprüfung der Datenqualität erlangtes Höhenprofil $h(t)$ und Korrektur $h_{corr}(t)$ der Daten in Tabelle 1

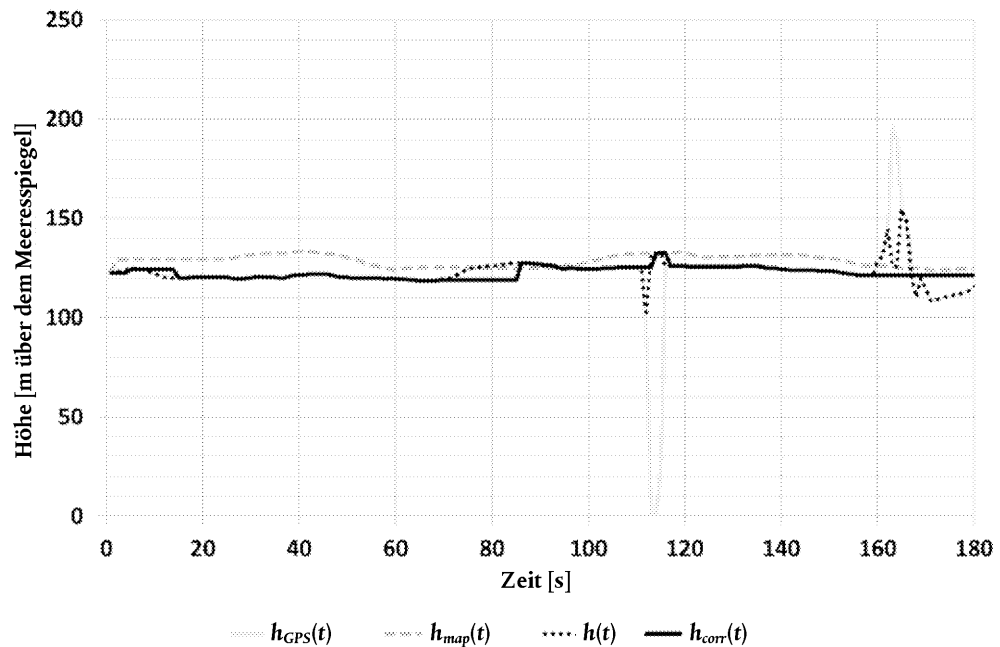


Abbildung 3

Vergleich zwischen korrigiertem Höhenprofil $h_{corr}(t)$ und der geglätteten und interpolierten Höhe $h_{int,sm,1}$

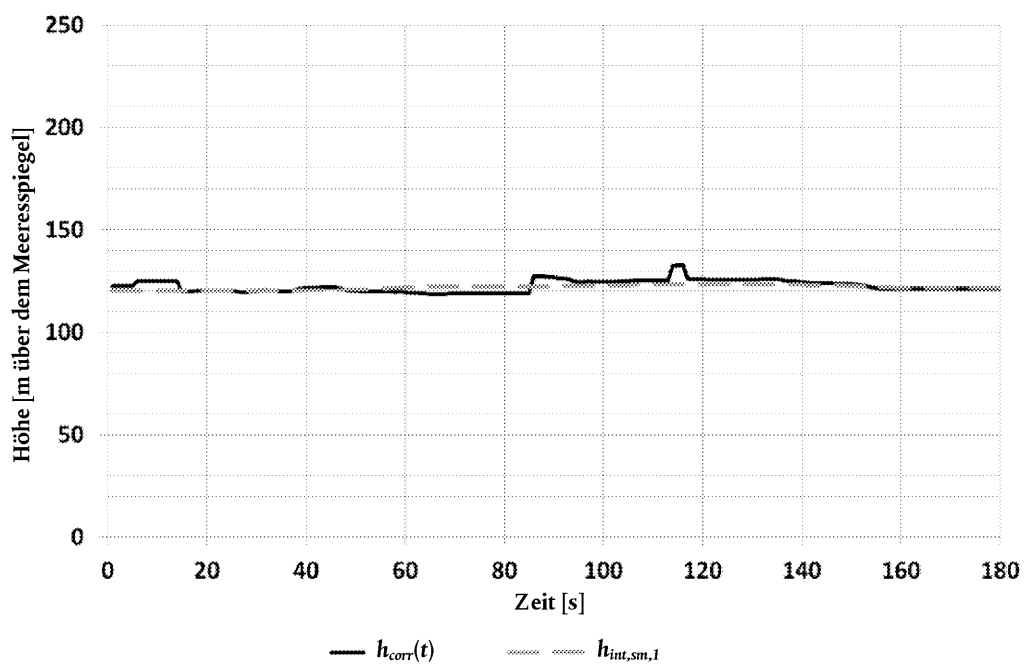


Tabelle 2

Berechnung des positiven Höhenunterschieds

d [m]	t_0 [s]	d_0 [m]	d_1 [m]	h_0 [m]	h_1 [m]	$h_{int}(d)$ [m]	$road_{grade,1}(d)$ [m/m]	$h_{int,sm,1}(d)$ [m]	$road_{grade,2}(d)$ [m/m]
0	18	0,0	0,1	120,3	120,4	120,3	0,0035	120,3	- 0,0015
...
120	37	117,9	125,7	120,9	121,2	121,0	- 0,0019	120,2	0,0035
...
200	46	193,4	204,1	121,4	120,7	121,0	- 0,0040	120,0	0,0051
...
320	56	308,4	320,0	119,8	119,7	119,7	0,0288	121,4	0,0088
...
520	113	519,9	523,6	132,5	132,6	132,5	0,0097	123,7	0,0037
...
720	149	719,2	730,2	123,6	123,4	123,6	- 0,0405	122,9	- 0,0086
...
798	158	796,1	798,8	121,2	121,2	121,2	- 0,0219	121,3	- 0,0151
799	159	798,8	800,0	121,2	121,2	121,2	- 0,0220	121,3	- 0,0152“