Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist in der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt und zugänglich.
http://www.ub.tuwien.ac.at

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology.
http://www.ub.tuwien.ac.at/eng

Diploma Thesis

Skid resistance prediction for asphalt surfaces

submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

Diplomarbeit

Griffigkeitsprognose von Asphaltoberflächen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Michael Steineder, BSc

Matr.Nr.: 0728073

unter der Anleitung von

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. **Ronald Blab**

Ass. Prof. Dipl. Ing. Dr. techn. **Bernhard Hofko**

Institut für Verkehrswissenschaften
Forschungsbereich Straßenwesen
Technische Universität Wien
Gusshausstraße 28/230/3, 1040 Wien, Österreich

Wien, im Oktober 2018 _____

Kurzfassung

Griffigkeitsprognose von Asphaltoberflächen

Die Griffigkeit von Asphaltoberflächen hat einen wesentlichen Einfluss auf die Nutzungsdauer einer Straße, da zufolge von größeren Bremswegläängen die Verkehrssicherheit maßgeblich beeinträchtigt wird. Deshalb ist es von besonderem Interesse, diesen Kennwert möglichst genau vorhersagen zu können, um eine kostengünstige und ressourcenschonende Straßenerhaltung zu ermöglichen.
In Österreich wird bei neuen Straßenoberflächen derzeit nur die Polierresistenz der verwendeten Gesteinskörnung bezogen auf einen vorgegebenen Grenzwert geprüft. Dies ermöglicht jedoch keine Aussagen, wie sich die Griffigkeit der Asphaltoberfläche in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung entwickelt. Aus diesem Grund wurde das Forschungsprojekt PROGRIP (Prognose der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen - Entwicklung eines Labor-Verfahrens) initiiert. Dadurch wurde ein Modell zur Griffigkeitsprognose von Beton- und Asphaltoberflächen entwickelt. Mit dessen Hilfe kann die Entwicklung der Griffigkeit einer Straße zufolge der prognostizierten Verkehrsbelastung im Labor mit Hilfe der Prüfanlage nach Wehner/Schulze geprüft werden. Dazu wurden mehrere Bohrkerne aus dem österreichischen Autobahnen- und Schnellstraßennetz gezogen, mit deren Hilfe das Modell generiert wurde.
Im Zuge dieser Arbeit wurden weitere Bohrkerne aus dem österreichischem Straßennetz im Labor mit Hilfe der Prüfanlage nach Wehner/Schulze geprüft. Mit den neu gewonnen Daten wurde dann zum einen das Prognosemodell aus PROGRIP auf dessen Anwendbarkeit überprüft, zum anderen wurde ein weiteres Modell zur Griffigkeitsprognose entwickelt, welches ausschließlich für Asphaltoberflächen gültig ist.
Die Arbeit gliedert sich hierfür in drei wesentliche Abschnitte. Der erste Abschnitt (Kapitel 1 bis 4) befasst sich mit den technischen Grundlagen, sowie den wesentlichen Erkenntnissen aus PROGRIP, die relevant für die durchzuführenden Laborprüfungen als auch für die weiteren Auswertungen sind.
Im zweiten Abschnitt (Kapitel 5) werden die Messergebnisse der im Zuge dieser Diplomarbeit geprüften Bohrkerne erörtert. Im dritten Abschnitt (Kapitel 6 und 7) werden dann die wesentlichen Fragestellungen über die Anwendbarkeit des Prognosemodells aus PROGRIP für die im Zuge dieser Arbeit neu gewonnenen Daten und die Möglichkeit für ein Prognosemodell ausschließlich für Asphaltoberflächen ausführlich behandelt.

Abstract

Skid resistance prediction for asphalt surfaces

Skid resistance has a significant impact on the technical service life of asphalt surfaces as road safety is affected due to a longer braking distance. Therefore the forecast of expectable grip values is essential in order to facilitate cost-effective and resource-efficient road maintenance.
Currently only polishing resistance of the used aggregate referring to the prescribed threshold value is being tested concerning new road surfaces. However, this does not allow any statement about how the grip of the asphalt surface develops as a function of traffic load. Therefore the research project PROGRIP (prediction of the grip of road surfaces - development of a laboratory procedure) has been initiated to develop a model for skid resistance prediction of concrete and asphalt surfaces. Within PROGRIP the evolution of the grip of a road is tested according to the predicted traffic load in the laboratory with the testing device according to Wehner/Schulze. For this purpose, several cores were taken from pavements of the Austrian motorway and expressway network, in order to develop the prediction model.
In the course of this thesis further cores from the Austrian road network were tested in the laboratory with Wehner/Schulze tester. On the one hand, the prediction model from PROGRIP was checked for its applicability with the newly gained data. On the other hand, a new model for grip prediction was developed, which is only valid for asphalt surfaces.
The thesis comprises three main parts. The first section (chapters 1 to 4) deals with the technical basics and the main findings of PROGRIP, which are relevant for laboratory tests to be carried out as well as for further analysis.
The second section (chapter 5) discusses the measurement results of the cores tested in the course of this diploma thesis.
The third section (chapters 6 and 7) examines the main issues concerning the applicability of the prediction model from PROGRIP for the newly gained data. In addition, the possibility for a prediction model exclusively for asphalt surfaces is discussed in detail.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **8**
- 1.1 Allgemeines . . . 8
- 1.2 Problemstellung . . . 9
- 1.3 Zielsetzung . . . 10

2 Technische Grundlagen **11**
- 2.1 Begriffsbestimmungen . . . 11
  - 2.1.1 Griffigkeit . . . 11
  - 2.1.2 Reibungsbeiwert μ . . . 11
  - 2.1.3 Schlupf . . . 12
  - 2.1.4 RoadSTAR . . . 14
- 2.2 Griffigkeit von Oberflächen . . . 15
  - 2.2.1 Oberflächentextur von Asphalt . . . 15
  - 2.2.2 Polierverhalten von Asphalt . . . 17
- 2.3 Prüfanlage nach Wehner/Schulze . . . 18
  - 2.3.1 Bestandteile der Prüfanlage . . . 19
  - 2.3.2 Einflüsse auf Polierverhalten . . . 20
  - 2.3.3 Einflüsse auf Prüfung . . . 20

3 Teststrecken **21**
- 3.1 Kriterien für Streckenauswahl . . . 21
- 3.2 Mischgut . . . 22

4 Prüfprogramm nach PROGRIP 2 **24**
- 4.1 Sandstrahlleistung . . . 24
  - 4.1.1 Strahlwinkel . . . 24
  - 4.1.2 Strahldauer, Abstand der Strahldüse und Qualität des Strahlmittels . . . 24
- 4.2 Polierleistung . . . 26
- 4.3 Korrelation Messergebnisse RoadSTAR und Wehner/Schulze . . . 27
- 4.4 Verfahrensablauf zur Griffigkeitsprognose gemäß PROGRIP 2 . . . 29
- 4.5 Auswertung der Messdaten . . . 31

5 Prüfergebnisse **34**
- 5.1 Streckenübersicht . . . 34
- 5.2 Strecke 42 . . . 36
- 5.3 Strecke 51 . . . 37
- 5.4 Strecke 67 . . . 38
- 5.5 Strecke 67a . . . 40
- 5.6 Strecke 108 . . . 41
- 5.7 Strecke 109 . . . 44
- 5.8 Strecke 110 . . . 45
- 5.9 Zusammenfassung der Prüfergebnisse . . . 47

6 Anwendbarkeit des Prognoseverfahrens aus PROGRIP auf die geprüften Bohrkerne 48

7 Erstellung eines neuen Prognoseverfahrens nur für Asphaltoberflächen 56
7.1 Regressionsanalyse an den Asphaltbohrkernen 56
7.2 Prognoseverfahren zufolge unbefahrener Asphaltbohrkerne 57
7.3 Prognoseverfahren zufolge befahrener Asphaltbohrkerne 58
7.4 Prognoseverfahren zufolge befahrener und unbefahrener Asphaltbohrkerne 59

8 Zusammenfassung 61
8.1 Ausgangssituation und Zielsetzung 61
8.2 Versuchsprogramm 61
8.3 Versuchsergebnisse 62
8.4 Ausblick 62

Anhang 65
Anhang A - Prüfprotokolle 65

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Allgemeines

Durch die Einführung der Mautpflicht in Österreich im Jahr 1997 für Autobahnen und Schnellstraßen entstand ein privatrechtliches Vertragsverhältnis zwischen der Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG) und jedem Straßenbenützer. Aufgrund der eingehobenen Maut hat der Straßenerhalter (in Österreich: ASFINAG) Sorge zu tragen, dass die Verkehrssicherheit jederzeit eingehalten wird. Dies bedeutet, dass im Falle eines Unfalles der Straßenerhalter nachzuweisen hat, dass zum Unfallzeitpunkt die Straße in einem ordnungsgemäßen Zustand war, da dieser ansonsten dafür haftbar ist. (vgl. [6], Seite 1)
Deshalb hat die Entwicklung der Griffigkeit auf diesem hochrangigen Bundesstraßennetz einen wesentlichen Einfluss auf die Nutzungsdauer von Straßenoberflächen. Vor allem auf nassen Fahrbahnen hat die Griffigkeit oft einen entscheidenden Einfluss auf die Bremsweglänge und reduziert somit maßgeblich die Verkehrssicherheit.
Eine ansonsten intakte Straße könnte somit rasch nicht mehr die technischen Anforderungen erfüllen, sollte der Griffigkeitswert unter einen definierten Bereich fallen. Somit müsste eine noch strukturell sehr gut bewertete Straße frühzeitig saniert werden. Die Instandhaltungsmaßnahmen beeinträchtigen nicht nur den Verkehrsfluss erheblich während Arbeiten, sondern sind auch sehr kostspielig und ressourcenzehrend. (vgl. [8], Seite 9)
In Österreich wird bei Asphalt und Beton, die im Straßenbau verwendet werden, derzeit jedoch nur die Gesteinskörnung auf Polierresistenz im Bezug auf das Griffigkeitsverhalten geprüft. Die dabei zur Anwendung kommenden Regelwerke sehen nur Grenzwerte vor, welche für die verwendete Gesteinskörnung gilt. Dadurch ergeben sich viele Unsicherheiten für das tatsächliche Griffigkeitsverhalten, da nur die Gesteinskomponente geprüft wird, nicht jedoch die fertige Asphaltmixtur in ihrer gesamten Zusammensetzung. Zudem kann aufgrund der Grenzwerte für die Polierresistenz keine Aussage getroffen werden, welche Verkehrsbelastung damit simuliert wird und wie sich das Niveau der Griffigkeit im Laufe der Zeit verändert. Die Überprüfung der Griffigkeit von bestehenden Autobahnen und Schnellstraßen erfolgt mit dem Messsystem RoadSTAR des Austrian Institute of Technology. (vgl. [8], Seite 9)
Dies bedeutet, dass es keinen direkten Zusammenhang zwischen der im Labor geprüften Polierresistenz von Gesteinen und der mit Hilfe des RoadSTAR gemessenen Griffigkeit der daraus hergestellten Deckschichten gibt. Zudem gibt es auch keine Prognose der Griffigkeit für diese Deckschichten. (vgl. [8], Seite 9)
Deshalb wurde das Projekt PROGRIP – „*Prognose der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen – und Entwicklung eines Laborverfahrens*“ [8] in die Welt gerufen. Ziel dieses Projektes ist es, ein Laborverfahren für die Prognose der Griffigkeit von Deckschichten zu entwickeln. Dabei sollen mit Hilfe der Prüfanlage nach Wehner/Schulze Laborprüfkörper, welche möglichst ident zu der geplanten Straßenoberfläche sind, geprüft werden, um anschließend eine zuverlässige Aussage über deren Griffigkeitsverlauf treffen zu können. Mit den dadurch gewonnen Daten lässt sich schließlich die Lebensdauer bezogen auf die Griffigkeit der Deckschicht in Abhängigkeit der

Verkehrsbelastung prognostizieren.
Dies würde bedeuten, dass bereits bevor eine Autobahn oder Schnellstraße gebaut wird, an Probekörpern der Verlauf der Griffigkeitsentwicklung prognostiziert werden kann, wenn die entsprechende Verkehrsbelastung ausreichend genau vorhergesagt werden kann. Dies hätte zur Folge, dass die Lebenszykluskosten genauer vorhergesagt werden können, eine Anzahl an Messfahrten zur Griffigkeitsbestimmung mittels RoadSTAR eingespart werden kann und Sanierungsmaßnahmen schon frühzeitig geplant werden könnten.

1.2 Problemstellung

Im Zuge von PROGRIP wurde anhand von mehreren Voruntersuchungen ein Prüfprogramm etabliert, mit dessen Hilfe die Probekörper geprüft werden. Um jedoch ein statistisch abgesichertes Prognosemodell erstellen zu können, bedarf es einer Kalibrierung für dieses Verfahren. (vgl. [8], Seite 100)

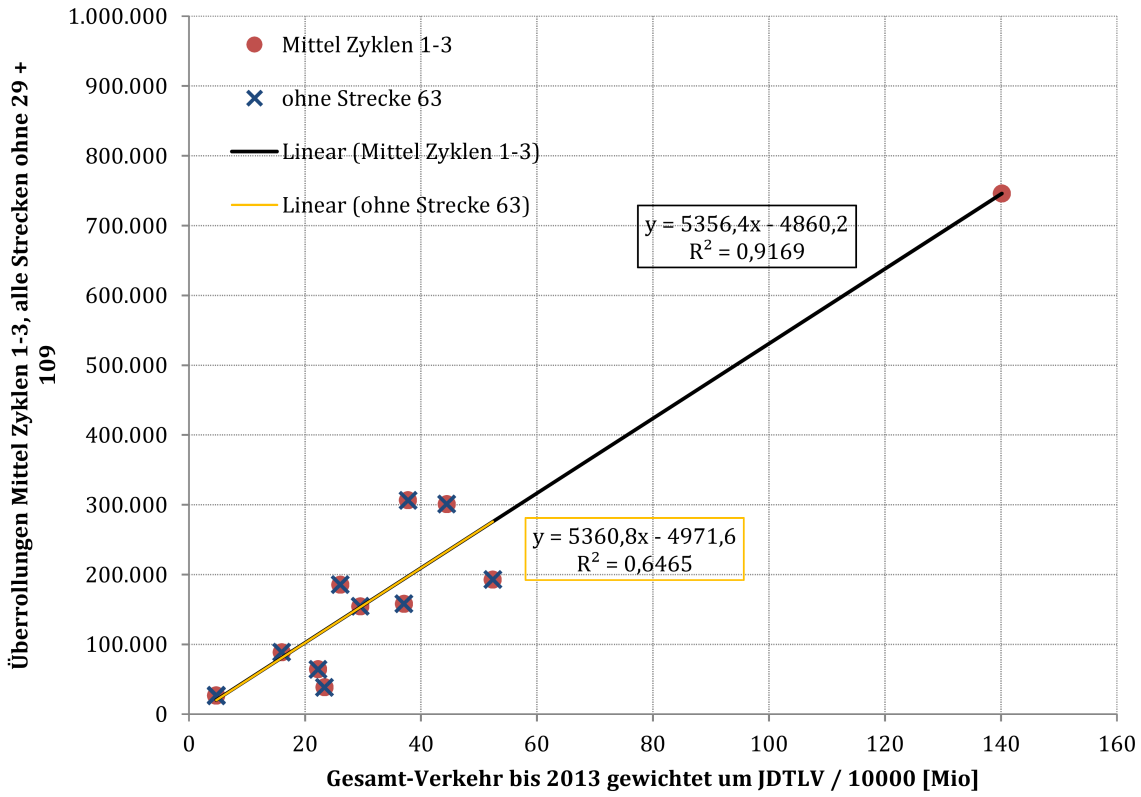


Abb. 1.1: Korrelation Überrollungen PWS (gemittelte Zyklen 1-3) / Gesamt-Kfz bis 2013 gewichtet um JDTLV/10.00 [Mio] (ohne Strecken 29 und 109) (vgl. [8], Seite 95)

Deshalb wurden 14 homogene geradlinige Streckenabschnitte mit Asphalt- und Betondecken auf Autobahnen und Schnellstraßen in Ostösterreich ausgewählt. Grundlage für diese Auswahl waren RoadSTAR Messungen. Auf jedem Streckenabschnitt wurden jeweils vier Bohrkerne aus der rechten Rollspur des rechten Fahrstreifens, sowie vier Bohrkerne aus dem unbefahrenen Bereich gezogen. Als unbefahrener Bereich zählen der Pannenstreifen und die Fahrstreifenmitte.

An den befahrenen Bohrkernen wurde im Labor mittels Prüfanlage nach Wehner/Schulze die aktuelle Straßengriffigkeit gemessen. Dadurch konnte ein Zusammenhang zwischen den gemessenen Griffigkeiten mittels RoadSTAR und den mit der Prüfanlage ermittelten Daten hergestellt werden. (vgl. [8], Seite 100f)
Die unbefahrenen Bohrkerne wurden als Prüfkörper für die Labormessung herangezogen. Dabei wurde angenommen, dass diese den unbelasteten Ausgangszustand im Bezug auf die Griffigkeit der Deckschicht darstellen. Jedoch stellte sich heraus, dass die Deckschichten der Pannenstreifen häufig nicht dieselbe Mischrezeptur wie der befahrene Bereich aufwiesen. Aus diesem Grund wurde mittels Sandstrahlen ein künstliches Startniveau bei den unbefahrenen Bohrkernen geschaffen, welches den unbelasteten Ausgangszustand repräsentieren soll. (vgl. [8], Seite 100ff)
Mittels Gegenüberstellung der erforderlichen Beanspruchung (in Form von Überrollungen im Labor durch die Prüfanlage nach Wehner/Schulze bis zum Erreichen der ursprünglich gemessenen Griffigkeit am befahrenen Prüfkörper) und des Gesamtverkehrs bis 2013 für jeden Streckenabschnitt wurde das Laborverfahren erfolgreich kalibriert. (vgl. [8], Seite 100ff)
In Abbildung 1.1 ist die aktuelle Korrelation zwischen den benötigten Überrollungen mittels Prüfanlage nach Wehner/Schulze und dem um LKW gewichteten Gesamtverkehr bis 2013 dargestellt. Hervorstechend ist hier die große Lücke zwischen den Korrelationspunkten im Diagramm. Grund dafür ist, dass nur eine alte Strecke (Baujahr 1994) mit einer dementsprechend hohen Gesamtverkehrszahl zufolge der Auswahlkriterien nach PROGRIP für eine Prüfung in Frage kam.
Dadurch lässt sich festhalten, dass die Prüfungen nicht nur an Bohrkernen durchgeführt wurden, welche nicht derselben Bauart wie die befahrenen Bohrkerne entsprechen, sondern auch die Trendlinie hauptsächlich durch die meistbefahrene Strecke geprägt ist. Zudem kommt, dass kein Unterschied zwischen Asphalt- und Betondecken gemacht wurde, dies würde bedeuten, dass mit einer Prognoselinie beide Deckentypen ausreichend genau beschrieben werden können.

1.3 Zielsetzung

Die hohen Anforderungen an die Griffigkeit bezogen auf die Verkehrssicherheit im hochrangigen Straßennetz gepaart mit dem immer enger geschnürten Budgetrahmen für Sanierungsmaßnahmen rechtfertigen die Motivation, ein Prognosemodell für die Griffigkeit von Straßenoberflächen von hoher Genauigkeit erstellen zu können.
Aufgrund der in Kapitel 1.2 angeführten Problemstellung in Kombination mit der großen Bedeutung der Griffigkeit in der Verkehrssicherheit wurde das Forschungsprojekt PROGRIP 2 ins Leben gerufen.
Die Diplomarbeit ist Teil dieses Forschungsprojektes und behandelt folgende Ziele:

- Prüfen der **befahrenen** Bohrkerne aus Splittmastixasphalt gemäß dem Prüfprogramm nach PROGRIP 2 mit Hilfe der Prüfanlage nach Wehner Schulze
- Überprüfung der Anwendbarkeit des Prognoseverfahrens aus PROGRIP auf die geprüften befahrenen Bohrkerne
- Erstellung eines neuen Prognoseverfahrens ausschließlich für Asphaltoberflächen zu Grunde der Daten aus PROGRIP und PROGRIP 2

Kapitel 2

Technische Grundlagen

2.1 Begriffsbestimmungen

2.1.1 Griffigkeit

Die Griffigkeit trägt maßgebend zur Verkehrssicherheit einer Straße bei. Im Straßenbau wird der Begriff Griffigkeit als der Einfluss der Rauheit der Fahrbahnoberfläche auf den Reibungsbeiwert bezeichnet. Dabei leistet die Fahrbahnoberfläche einen wesentlichen Beitrag zum Kraftschluss zwischen Fahrbahn und Fahrzeugreifen. Zufolge der Griffigkeit der Oberfläche werden in der Berührungsfläche Reibungskräfte übertragen, welche durch Verzögerung, aber auch Beschleunigung und Kurvenfahrten eines Fahrzeuges entstehen.(vgl. [6], Seite 4)
Vor allem bei Nässe sinkt die Verkehrssicherheit, da durch das Zwischenmedium Wasser die Berührungsfläche verringert wird und dadurch der Reibungswiderstand sinkt, beziehungsweise nur noch geringere Reibungskräfte übertragen werden können.(vgl. [6], Seite 4)
Physikalisch gemessen wird die Griffigkeit in Form eines Reibungskoeffizienten, auch Reibungsbeiwert μ genannt. (vgl. [6], Seite 4)
Die Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche hängt hauptsächlich von folgenden Faktoren ab (vgl. [7], Seite 11ff; vgl. [12], Seite 5ff):

- Makrotextur der Fahrbahnoberfläche
- Mikrotextur der Gesteinsoberfläche
- Reifentyp
- Fahrgeschwindigkeit
- Bewegungszustand (Bremsen, Kurvenfahrt, etc.)
- Eventuell vorhandenes Medium zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche (z.B. Wasser, Schmutz, Eis)

2.1.2 Reibungsbeiwert μ

Die Interaktion gemäß Abbildung 2.1, bei der zwischen zwei Reibflächen eine Kraft übertragen wird, basiert auf dem physikalischen Grundgesetz der Reibung. Der dimensionslose Reibungsbeiwert μ (auch Reibungskoeffizient oder Reibungszahl genannt) beschreibt dabei das Verhältnis zwischen der Reibungskraft und der Anpresskraft der beiden Reibflächen zueinander. (vgl. [12], Seite 29)
Der Zusammenhang der Kräfte aus Abbildung 2.1 ist demnach wie folgt definiert (vgl. [12], Seite 30):

$$F_{R,1} = \mu \cdot F_{N,1} \tag{2.1}$$

$$F_{R,1} = F_{R,2} \tag{2.2}$$

$$F_{N,1} = F_{N,2} \tag{2.3}$$

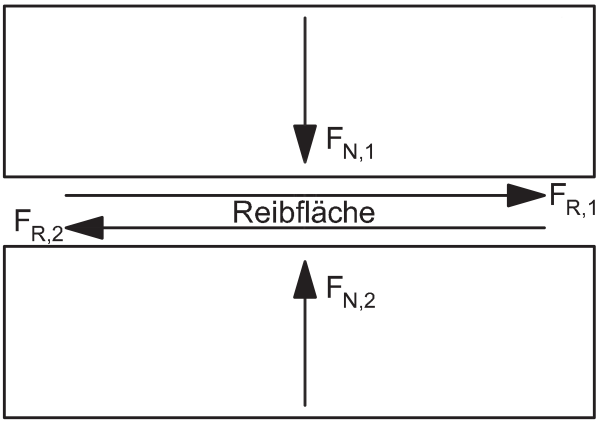


Abb. 2.1: Graphische Darstellung der Reibung (vgl. [12], Seite 30)

Dabei wird jedoch zwischen statischer und kinematischer Reibung unterschieden. Wird ein statischer Körper in Bewegung versetzt, so muss zuerst die Haftreibung überwunden werden. Wird der Körper in einer weiteren reibungserzeugenden Bewegung geführt, so muss die Gleitreibung überwunden werden. Dies bedeutet, dass bei einem Fahrzeug erst zufolge einer Relativbewegungen eine Reibungskraft entstehen kann. Dabei werden die horizontalen Anteile der dynamischen Kräfte (z.B. Bremsen, Beschleunigen, Bogenfahrt) über die Reibfläche mit einem entsprechendem Reibungsbeiwert μ zwischen Fahrzeugreifen und Straßenkonstruktion übertragen. (vgl. [12], Seite 30)
Für die Messung des Reibungsbeiwertes μ wurden im Laufe der Zeit viele verschiedene Systeme entwickelt. Dabei unterscheidet man zwischen dynamischen und stationären Prüfanlagen, um einen unter praxisgerechten Bedingungen gemessenen Kennwert zu erhalten. Der Vorteil der dynamischen Messsysteme ist, dass der Reibungskoeffizient kontinuierlich und ohne größere Beeinträchtigung des Straßenverkehrs für einen Straßenabschnitt gemessen werden kann. Bei stationären Systemen wird die Griffigkeit nur punktuell gemessen, weshalb sich diese Methode nur für kürzere Straßenabschnitte eignet. (vgl. [12], Seite 35)
Dafür sind sie in der Anschaffung meist günstiger als dynamische Messsysteme.
Die wichtigsten Vertreter der beiden Systeme sind (vgl. [12], Seite 35ff):

- Stationäre Messsysteme
  - SRT – Gerät (Skid Resistence Tester)
- Dynamische Messsysteme
  - SRM (Stuttgarter Reibungsmesser)
  - RoadSTAR (Road Surface Tester of Arsenal Research)
  - GripTester
  - SCRIM (Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine)

2.1.3 Schlupf

Um eine Kraft zwischen Fahrzeugreifen und Fahrbahnkonstruktion übertragen zu können, muss Reibung aktiviert werden. Wie in Abschnitt 2.1.2 erläutert, werden Reibungskräfte aktiviert,

wenn ein Fahrzeug beschleunigt oder verzögert.
Beide Zustände bedeuten, dass zwischen Reifen und Fahrbahn eine Geschwindigkeitsdifferenz entsteht. Beim Bremsen ist die Radumfangsgeschwindigkeit v_u kleiner als die Fahrgeschwindigkeit v, beim Beschleunigen wiederum ist die Fahrgeschwindigkeit kleiner als die Radumfangsgeschwindigkeit. In beiden Fälle wirkt eine Reibkraft zwischen Fahrzeugreifen und Fahrbahn. Bezieht man jetzt die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen der Fahrgeschwindigkeit und der Radumfangsgeschwindigkeit auf die Fahrgeschwindigkeit, so erhält man den Schlupf λ (siehe Formel 2.4 und 2.5). Eine Reibkraft ohne Schlupf zu aktivieren ist nicht möglich. (vgl. [13], Seite 17ff).

$$\lambda = \frac{v - v_u}{v} \cdot 100\ [\%] \quad \text{... Bremsschlupf} \tag{2.4}$$

$$\lambda = \frac{v_u - v}{v} \cdot 100\ [\%] \quad \text{... Antriebsschlupf} \tag{2.5}$$

Um immer einen positiven Schlupf zu erhalten, sind dafür zwei Formeln für den Bremsschlupf und Antriebsschlupf wie oben ersichtlich definiert. Der Zusammenhang zwischen der aktivierbaren Reibung und dem vorhandenen Schlupf ist in Abbildung 2.2 dargestellt. In der Grafik ist zu sehen, dass mit zunehmenden Schlupf der Reibungsbeiwert zunächst stark ansteigt und ab einem Punkt wieder geringer wird. (vgl. [12], Seite 26)

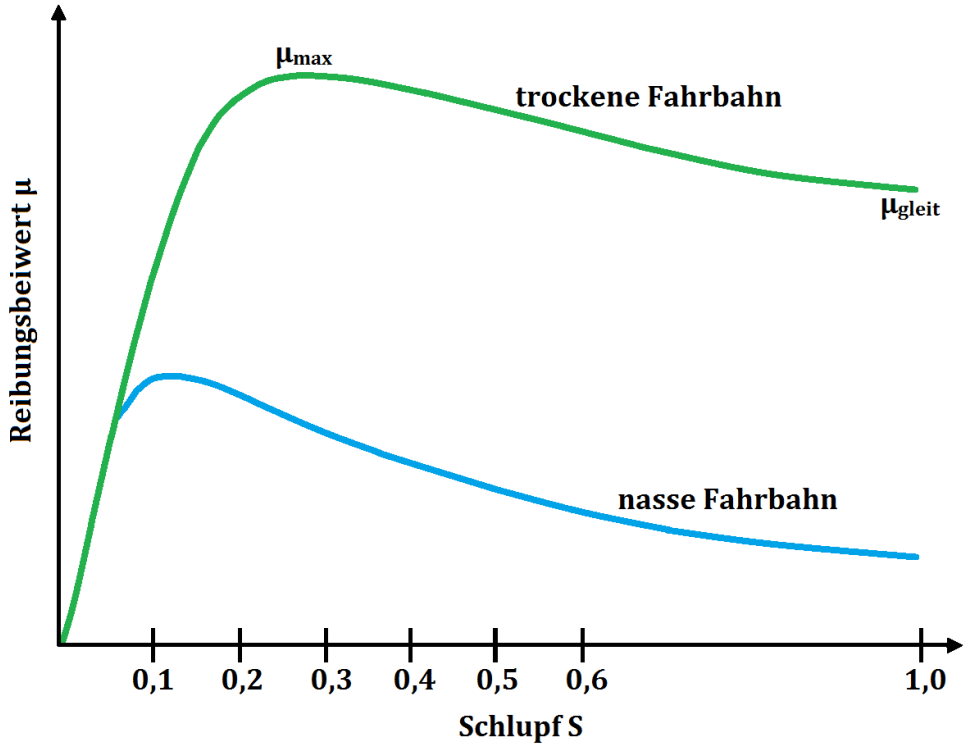


Abb. 2.2: Zusammenhang Reibung und Schlupf (vgl. [10], Seite 27)

Der Hochpunkt jeder Kurve gibt den kritischen Schlupf an. Bei griffiger, trockener Fahrbahn liegt dieser Punkt zwischen einem Schlupf von 0,2 bis 0,4. An diesem Punkt erreicht der Reibungsbeiwert seinen maximalen Wert und wird auch als Kraftschlussgrenze bezeichnet. Wird der kritische Schlupf überschritten, dann sind die wirkenden Bremsmomente größer als die aktivierbaren Reibungskräfte und das Rad blockiert. Der Schlupf steigt dann rasant an, während der Reibungsbeiwert sinkt. Bei einem Schlupf von eins wird der minimale Gleitreibungsbeiwert

erreicht. Die Reibungsbeiwerte auf nasser Fahrbahn verhalten sich sehr ähnlich, sind jedoch wesentlich geringer als auf trockener Fahrbahn. (vgl. [12], Seite 26)
Bei einem Schlupf von 0 rollt der Fahrzeugreifen frei ab, es kommt somit nur die Haftreibung zum Tragen. (vgl. [5], Seite 12)

2.1.4 RoadSTAR

Der RoadSTAR (Road Surface Tester Of Arsenal Research) ist ein Hochleistungsmessfahrzeug, mit dem die wichtigsten Oberflächeneigenschaften sowie Trassierungsparameter einer Straße erfasst werden können. (vgl. [7]; Seite 34)
Dieses dynamische Messsystem erfasst dabei folgende Parameter (vgl. [7]; Seite 34):

- Oberflächeneigenschaften
  - Griffigkeit
  - Querebenheit
  - Längsebenheit
- Trassierungsparameter
  - Längsneigung
  - Querneigung
  - Kurvenradius

Das Grundgerüst ist ein 2-Achs-LKW, auf dem der Wassertank für die Griffigkeitsmessung über der hinteren Achse sitzt. In der rechten Radspur hinter dem rechten Hinterrad befindet sich die Griffigkeitsmesseinrichtung, ein modifizierter Stuttgarter Reibungsmesser. Damit ist es dem RoadSTAR möglich, die Griffigkeit der Straße im fließenden Verkehr bei Geschwindigkeiten zwischen 30 und 120 Kilometern pro Stunde durchzuführen. (vgl. [7]; Seite 34)

Abb. 2.3: Messfahrzeug RoadSTAR (links), Griffigkeitsmesseinrichtung (rechts) ([2], Seite 5)

Das Messprinzip wird auf Grundlage des Coulomb‘schen Reibungsgesetzes gemessen. Dafür wird ein Messrad über ein Getriebe mit elektronischer Kupplung mit 18% bis 100% Schlupf

oder mit ABS angetrieben. Das Rad ist über eine Schwinge angehängt und lässt somit Schwenk- und Federbewegungen zu. Die Messradmittelebene steht normal zur Fahrbahnebene. In Kurven schwenkt das Rad selbstständig in jene Richtung, um nahezu seitenkraftfrei bis zu minimal zulässigen Kurvenradien ablaufen zu können. Um eine definierte Radlast einstellen zu können, wird das Messrad mittels eines Pneumatikzylinders auf die Straße gepresst und entlastet. Mittels elektronischer Messeinrichtungen werden die vertikale Radlast sowie die horizontale Bremskraft gemessen. Gemäß Coulomb wird dann aus Bremskraft und Vertikalkraft der Quotient gebildet und man erhält den Reibungsbeiwert μ_{RS}. (vgl. [7]; Seite 35ff)
Da die Verkehrssicherheit vor allem auf nasser Fahrbahn sinkt, wird die Griffigkeit auf nasser Fahrbahn gemessen. Deshalb wird die Straße für die Messung mittels Hochdruckvorbewässerungsanlage, welche sich zirka einen Meter vor dem Messrad befindet, die Oberfläche gereinigt und mit Wasser benetzt. Die für die Griffigkeitsmessung erforderliche konstante Wasserfilmdicke wird über die spezielle Ausflussvorrichtung unmittelbar vor dem Messrad eingestellt. Hiermit können Wasserfilmdicken von 0,5 mm bis 2,0 mm bei Messgeschwindigkeiten[1] von 30 km/h bis zu 120 km/h erzeugt werden. (vgl. [7]; Seite 37)

2.2 Griffigkeit von Oberflächen

2.2.1 Oberflächentextur von Asphalt

Neben dem Reifentyp hat vor allem die Beschaffenheit der Straßenoberfläche einen wesentlichen Einfluss auf die Griffigkeit. Von großer Bedeutung ist hier die Textur der Straßenoberfläche, auch Rauheit genannt. Durch die Textur werden folgende praxisrelevante Eigenschaften bestimmt:

- Drainagevermögen
- Griffigkeit
- Reifenrollgeräusch
- Sprühfahnenbildung
- Fahrkomfort

Die geometrische Feingestalt der Fahrbahnoberfläche wird durch die Parameter Wellenlänge und Amplitude ausgedrückt. Je nach Wellenlänge wird zwischen Mega-, Makro- und Mikrotextur unterschieden. (vgl. [12], Seite 12)

Megatextur

Diese Texturart spannt sich über einen Wellenlängenbereich von zirka 50 Millimetern bis 500 Millimetern. Durch diese Art der Rauheit wird nicht nur das Reifenrollgeräusch, sondern auch der Fahrkomfort beeinflusst. Weiters wirkt sich die Megatextur auch auf die Sprühfahnenbildung aus, welche bei Wasseransammlungen durch Längsunebenheiten entstehen können. (vgl. [12], Seite 12f)

Makrotextur

Diese Art der Rauheit spannt sich über einen Wellenlängenbereich von zirka 500 Mikrometern bis 50 Millimetern. Kennzeichnende Aufgabe dieser Texturart ist die Drainagewirkung der Straßenoberfläche. Je grobporiger die Oberfläche, desto mehr Wasser kann abgeführt

[1] Messstandard = 60 km/h

werden, wodurch bei höheren Geschwindigkeiten das Wasser schneller aus der Kontaktfläche zwischen Straßenoberfläche und Fahrzeugreifen verdrängt werden kann und somit die Griffigkeit steigert. Die Makrotextur ist im Wesentlichen abhängig von der gewählten Deckenart und der daraus resultierenden Korngrößenverteilung und dem Größtkorn. (vgl. [12], Seite 12)
Weitere Faktoren, die durch die Makrotextur beeinflusst werden sind optische Eigenschaften, Sprühfahnenbildung und Reifenabrollgeräusche (siehe Abbildung 2.4).

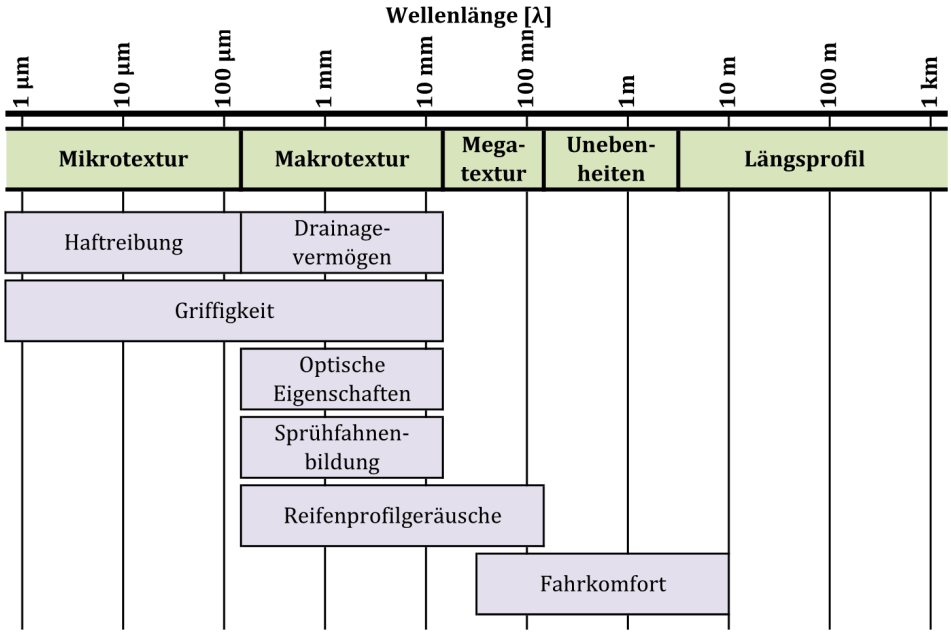


Abb. 2.4: Wellenlänge und Struktur (vgl. [4], Seite 165)

Mikrotextur

Die horizontale Ausdehnung dieser Textur hat eine Wellenlänge von weniger als 500 Mikrometern. Sie übt ihren Einfluss auf die Griffigkeit beziehungsweise Reibung aus. Durch die Oberflächenausbildung des verwendeten Gesteins soll ein noch vorhandener Wasserfilm zwischen Reifen und Oberfläche durchbrochen werden, wodurch ein trockener Kontakt hergestellt wird. (vgl. [12], Seite 13)

Während auf trockener Fahrbahn die Reibungsbeiwerte in der Regel unabhängig von den Textureigenschaften hoch sind und nahezu unabhängig von der Geschwindigkeit sind, sehen die Abhängigkeiten auf nasser Fahrbahn anders aus. Hier wirkt sich vor allem die Makro- und Mikrotextur auf die Griffigkeit aus. (vgl. [12], Seite 13ff)
Die Makrotextur wird über die Profilkuppenhöhe der Straßenoberfläche beschrieben. Die maximale Profilkuppenhöhe R_p entspricht dem Betrag der größten Profilerhebung von der mittleren Profillinie der Oberflächentextur (vgl. [11], Seite 182). Während die Makrotextur durch ihr Drainagevermögen indirekt die Reibung durch die Wasserfilmdicke beeinflusst, erhöht die Scharfkantigkeit der mikroskopischen Oberfläche des verwendeten Gesteins die Griffigkeit. Da die beiden Texturen nicht voneinander abhängig sind, können beliebig viele Kombinationen auftreten, welche jede zu einer anderen Reibungsbeiwert-Geschwindigkeits-Kurve führt. (vgl. [12], Seite 13ff)
In Abbildung 2.5 ist dieser Zusammenhang graphisch dargestellt. Grundlegend kann festgestellt werden, dass bei niedrigen Geschwindigkeiten die Griffigkeit unabhängig von dem Drainagevermögen der Oberfläche ist und nur vom Grad der Schärfe der Mikrotextur abhängig ist. Bei

höheren Geschwindigkeiten ist der Gleitreibungsbeiwert dann stärker vom Drainagevermögen der Fahrbahnoberfläche abhängig. Je schneller das Wasser abgeführt werden kann, desto besser kann die Mikrotextur die Griffigkeit über ihre Schärfe erhöhen. Wenn jedoch keine Mikrotextur vorhanden ist, dann kann auch ein sehr gutes Drainagevermögen die Griffigkeit nicht mehr wesentlich verbessern. (vgl. [12], Seite 13ff)

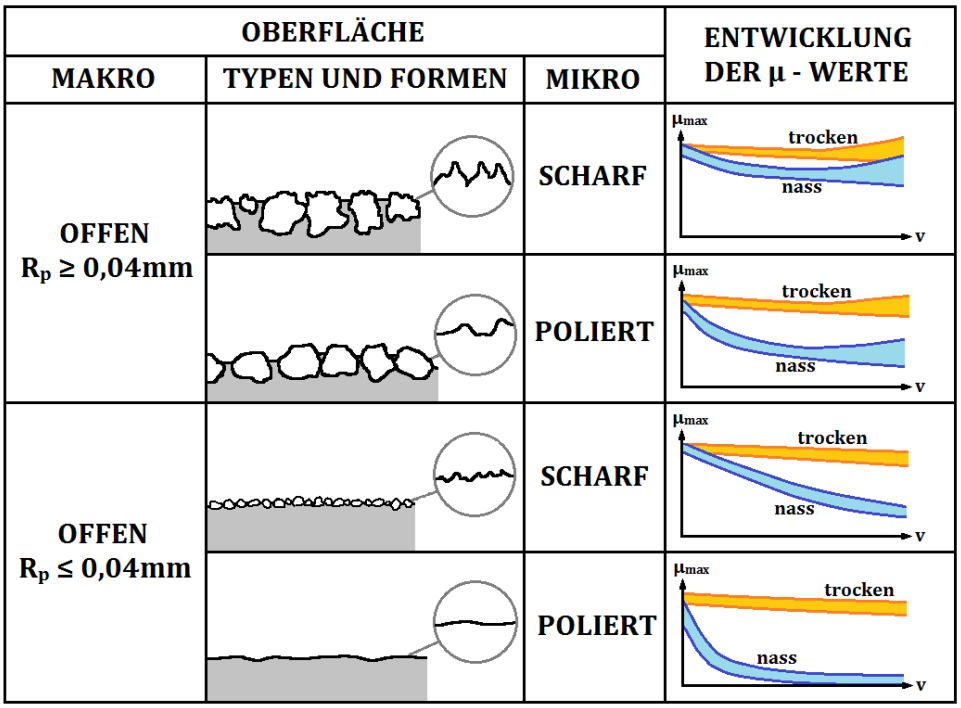


Abb. 2.5: Auswirkung der Struktur der Oberfläche auf den Reibungsbeiwert (vgl. [15], Seite 4)

2.2.2 Polierverhalten von Asphalt

Wie in Abschnitt 2.2.1 erläutert, hat die Oberflächentextur einen entscheidenden Einfluss auf die Reibungsbeiwerte bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Für die zeitliche Entwicklung des Reibungsbeiwertes einer Oberfläche tragen hauptsächlich die Eigenschaften der verwendeten Baustoffe unter Einwirkung von Verkehrsbelastung und Umwelteinflüssen bei. (vgl. [12], Seite 16)
Bei Asphaltdecken ist die Entwicklung der Griffigkeit in zwei Phasen unterteilt. Die erste Phase beginnt unmittelbar nach der Herstellung. Nach dem Einbau der Deckschicht befindet sich an der Oberfläche noch eine dünne Schicht aus einem Bindemittel-Sandgemisch. Sie ist im Anfangsstadium griffigkeitsbestimmend. (vgl. [12], Seite 16)
Somit bestimmt vor allem der Polierbeiwert der Sande das Griffigkeitsniveau in diesem Stadium (vgl. [1], Seite 1). Durch die zunehmende Verkehrsbeanspruchung wird diese dünne Schicht abgetragen und das Splittkorn kommt zum Vorschein. Jetzt beginnt die zweite Phase, in der das Splittkorn mit seiner Mikrotextur überwiegend die Griffigkeit bestimmt. (vgl. [12], Seite 16)
Neben der polierenden Beanspruchung durch die Fahrzeugreifen ist die Fahrbahnoberfläche auch der Witterung ausgesetzt. Vor allem der Regen hat zumeist einen positiven Einfluss auf die Entwicklung der Griffigkeit, da zum einen Schmutz- und Staubpartikel weggespült werden, wodurch die Mikrotextur wieder herausragt und zum anderen eine chemische Reaktion bei kalkhaltigen Decken in Kombination mit sauren Regen, wodurch lösliches Bikarbonat gebildet wird, welches wiederum die Griffigkeit erhöht. Ebenfalls einen positiven Einfluss auf die Griffigkeit hat die Verwendung von Spikes-Reifen im Winter, da die Straßenoberfläche dadurch zusätzlich aufgeraut

wird. (vgl. [12], Seite 18f)

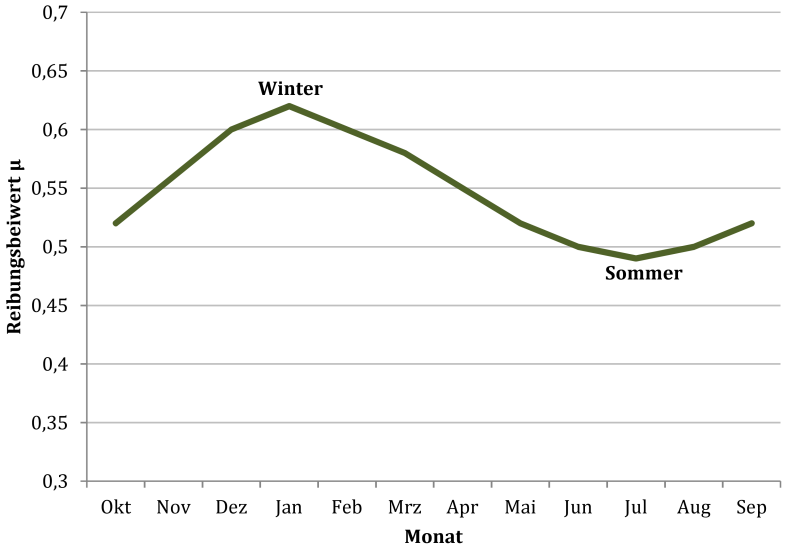


Abb. 2.6: Jahreszeitliche Schwankungen der Griffigkeit (vgl. [3], Seite 126)

Diese Einflüsse widerspiegeln sich auch in Abbildung 2.6. Sie zeigt beispielhaft die jahreszeitliche Schwankung der Griffigkeitswerte einer Messstrecke. In den trockenen Sommermonaten ist eine deutliche Abnahme der Werte zu erkennen, in den regenintensiven Monaten steigen sie wieder an. Die Kurve ist wahrscheinlich von Region zu Region unterschiedlich, stellt aber trotzdem einen Ansatz für diese Schwankungen dar. (vgl. [12], Seite 18f)

2.3 Prüfanlage nach Wehner/Schulze

Die Prüfanlage nach Wehner/Schulze ist ein in Laboren zur Anwendung kommendes Gerät, mit dessen Hilfe der Polierwiderstand und die Griffigkeitseigenschaften von Gesteinskörnungen beziehungsweise von Bohrkernen aus Straßenoberflächen bestimmt werden können. (vgl. [6], Seite 21)
Das Prüfverfahren nach Wehner/Schulze wurde in den 1960er Jahren an der technischen Universität Berlin entwickelt. Die ursprünglich aus zwei Teilen bestehende Prüfanlage konnte zum einen, die durch den Straßenverkehr entstehende polierende Wirkung simulieren und zum anderen die Griffigkeit der Probekörper messen. (vgl. [6], Seite 21f)
Anfang der 2000er Jahre wurde die Maschine modernisiert. Die größte Modifikation war die Zusammenfassung der beiden getrennten Teile zu einer Anlage. Dadurch wurde der Platzbedarf verringert, zudem entfällt ein Umbau des Probekörpers zwischen den beiden Stationen. Im Zuge der Modernisierung wurde auch die Messdatenerfassung digitalisiert, wodurch eine weitere Datenverarbeitung vereinfacht wird. Aufgrund dieser und einigen weiteren kleinen Verbesserungen erlangte dieses Prüfverfahren den Durchbruch auf wissenschaftlicher Ebene. Die modernisierte Variante wird Prüfanlage nach Wehner/Schulze neuester Bauart genannt. (vgl. [6], Seite 23ff)

2.3.1 Bestandteile der Prüfanlage

Die Prüfanlage nach Wehner/Schulze besteht im Allgemeinen aus zwei Stationen. Der erste Teil ist die Polierstation, in der die Überrollungen zufolge des Verkehrs simuliert werden. Der zweite Teil der Anlage ist die Prüfstation, in der die Griffigkeit des Probekörpers gemessen wird. In Abbildung 2.7 sind die wichtigsten Bauteile der Prüfanlage nach Wehner/Schulze neuester Bauart dargestellt.

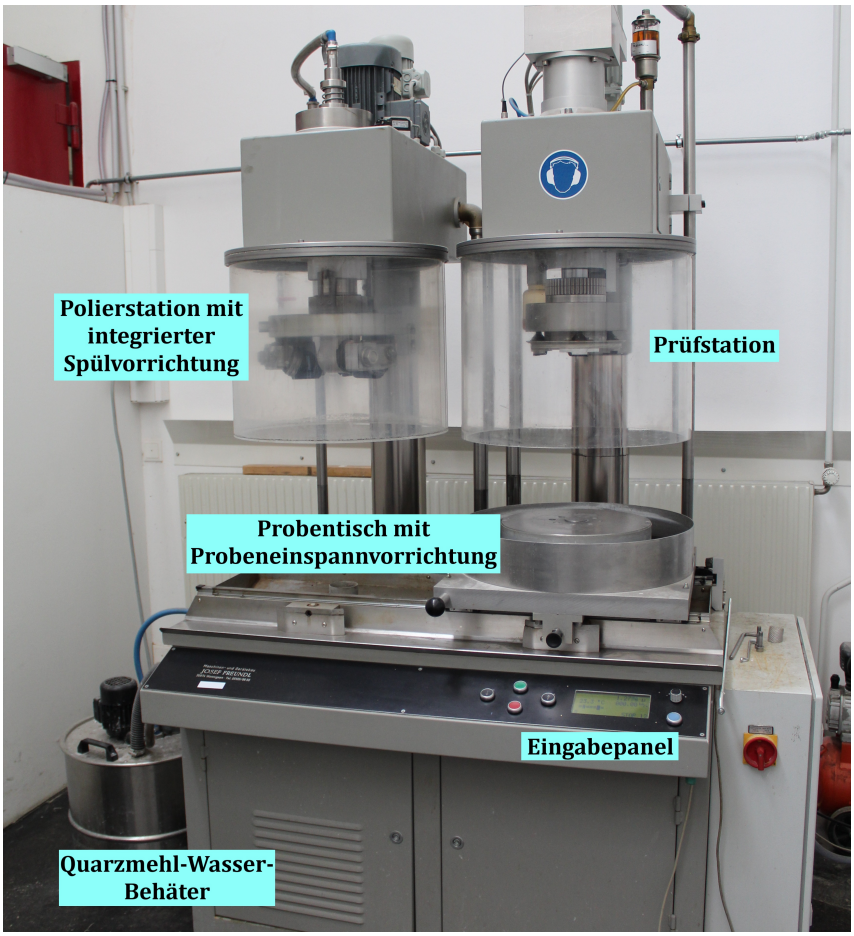


Abb. 2.7: Prüfanlage nach Wehner/Schulze neuester Bauart

Probentisch

Der Probentisch erfüllt zwei Aufgaben. Erstens wird die räumliche Lage des Prüfköpers über den Probentisch definiert. Dabei wird die Probeneinspannvorrichtung, welche den Probekörper in seiner Lage fixiert, am Probentisch festgeschraubt. Da der Probentisch auf einer Laufschiene montiert ist, kann der Probentisch leicht zwischen den beiden Stationen verschoben werden.

Die zweite Aufgabe ist die elektrotechnische Erfassung der Messwerte. Daher ist im Probentisch ein Drehmomentaufnehmer integriert, welcher die Momente erfasst, welche im Zuge der Griffigkeitsmessung im Probentisch entstehen. Diese werden in weiterer Folge in einen Reibungsbeiwert umgerechnet und digital am Computer ausgewertet und gespeichert. (vgl. [6], Seite 30f)

Polierstation

Mit Hilfe der Polierstation wird der über die Straße rollende Verkehr simuliert. Er be-

steht aus einem Polierkopf mit drei Polierrollen, welcher über einen Motor angetrieben wird. Über das Eingabepanel der Maschine lässt sich die Drehzahl des Polierkopfes regeln. Sie kann zwischen 0 U/min und 1000 U/min gewählt werden. Die kreiskegelförmigen Polierrollen bestehen aus einem Metallkern, welcher von einer zirka 9 Millimeter dicken Gummischicht umhüllt ist. Die Gummischicht hat zudem acht Profilrillen, die ein Reifenprofil simulieren. Die Polierbeanspruchung erfolgt über einen durch den Hersteller festgelegten Schlupf der Polierrollen, welcher mittels Lagerreibung hervorgerufen wird. Zudem wird auch ein Quarzmehl-Wasser-Gemisch zugeführt, um die Polierbeanspruchung zu erhöhen. Im Polierkopf ist eine Spülvorrichtung integriert, mit deren Hilfe zum einem während dem Poliervorgang das Quarzmehl-Wasser-Gemisch zugeführt wird, um so den Poliervorgang beschleunigen zu können. Zudem kann damit auch der Probekörper nach einem abgeschlossenen Poliervorgang mit sauberen Wasser gespült werden, um Quarzmehlrückstände zu vermeiden. (vgl. [6], Seite 26ff)

Prüfstation

Die Prüfstation besteht im Wesentlichen aus einem Prüfkopf, welcher mit drei Prüfgummis ausgestattet ist. Um die Griffigkeit zu messen, wird der am Probekörper aufliegende Prüfkopf angehoben, und mittels kuppelbarem Motors auf 100 km/h beschleunigt. Wenn der Prüfkopf eine Geschwindigkeit von 90 km/h erreicht, wird Prüfwasser mit einer Zufuhrrate von 20 Litern pro Minute zugeführt, bis die Prüfung vollständig abgeschlossen ist. Beim Erreichen von 100 km/h wird der Prüfkopf abgekuppelt und fällt auf den Prüfkörper. Durch das Eigengewicht und den Prüfgummis wird der Prüfkopf abgebremst. Die dadurch entstehenden Kräfte erzeugen ein Moment im Probentisch, welches mittels Drehmomentaufnehmer gemessen wird und anschließend in einen Reibbeiwert umgerechnet wird. (vgl. [6], Seite 29ff)

2.3.2 Einflüsse auf Polierverhalten

Die wesentlichen Einflussfaktoren bei der Polierstation der Prüfanlage nach Wehner/Schulze sind (vgl. [6], Seite 73) :

- Poliertemperatur
- Anzahl Überrollungen
- Poliermoment (Lagerreibung)
- Quarzmehl-Wasser-Gemisch
- Polierrollen
- Spülvorgang

2.3.3 Einflüsse auf Prüfung

Die wesentlichen Einflussfaktoren bei der Prüfstation der Prüfanlage nach Wehner/Schulze sind (vgl. [6], Seite 73):

- Prüfwassertemperatur
- Prüfgummiqualität
- Prüfgummitemperatur

Kapitel 3

Teststrecken

3.1 Kriterien für Streckenauswahl

Aufgrund von wissenschaftlichen Kriterien, aber auch aus wirtschaftlichen Gründen wurden die Strecken für die Bohrkernentnahme anhand von RoadSTAR-Daten ausgewählt. Grundprämisse war, Streckenabschnitte in einer vergleichbaren klimatischen Region zu wählen, um so witterungsbedingte Einflüsse, wie Hitze und Frost, aber auch durch den Winterdienst, auf einem vergleichbaren Niveau halten zu können. Deshalb wurden nur Strecken des Autobahnen und Schnellstraßennetzes für die Vorauswahl gewählt, die sich im ostösterreichischen Alpenvorland beziehungsweise im Wiener und Grazer Becken befinden. (vgl. [8], Seite 22)
Aufbauend auf dieser Grundlage und den von der ASFINAG zur Verfügung gestellten Daten und den vom RoadSTAR erhoben Messdaten des Austrian Institute of Technology wurden folgende Kriterien angewendet, um eine Vorauswahl zu treffen ([8], Seite 23):

- *„Beschränkung der Probenahme auf den Raum Linz – Wien – Graz aus klimatischen, wirtschaftlichen und organisatorischen Gründen*
- *Bauweise SMA[1] und WB[2] (je mindestens 5 Strecken)*
- *Hohe Verkehrslast (JDTV > 25.000)*
- *LKW-Anteil > 14%*
- *möglichst gleichmäßige Verteilung der Liegedauer und damit der gesamten Verkehrsbelastung*
- *Geradlinigkeit*
- *Minimale Abweichungen in der Längs- und Querebenheit*
- *Steigung 0 ± max. 1 %*
- *Verfügbarkeit von Griffigkeitsmessdaten mittels RS[3]*
- *Auswahl von Homogenbereichen, innerhalb derer sich die RS-Griffigkeiten nur minimal ändern, um die Gefahr von lokalen Ausreißern hinsichtlich Griffigkeitsniveau zu verringern“*

Zufolge der obigen Kriterien konnten 60 Strecken aus knapp 4000 Datensätzen herausgefiltert werden. In weiterer Folge wurden Strecken ausgewählt, bei denen laufend Griffigkeitsmessungen durchgeführt wurden und die eine entsprechend plausible Entwicklung des Griffigkeitsniveaus aufweisen oder Abschnitte, für die zwei Messungen inklusive der Abnahmeprüfung vorlagen, bei denen ebenfalls eine deutliche Griffigkeitsabnahme feststellbar war. (vgl. [8], Seite 23ff)

[1] Splittmastixasphalt
[2] Waschbeton
[3] RoadSTAR

Durch diese weitere Einschränkung für die Streckenauswahl und nach umfangreichen Befahrungen, um Bauweise und Homogenität der Fahrbahnoberfläche vor Ort feststellen zu können, wurden schlussendlich sieben Splittmastixasphalt- und sieben Waschbeton-Strecken ausgewählt. Diese Strecken für die Probenentnahme weisen eine möglichst große Bandbreite an Liegedauer beziehungsweise summarischer Verkehrsbelastung auf, sowie eine entsprechende Abnahme der Griffigkeit. (vgl. [8], Seite 25)
Einziger Kritikpunkt bei den ausgewählten Strecken ist, dass zwar alle Strecken den oben angeführten Kriterien entsprechen, jedoch der Pannenstreifen meist nicht in der selben Bauweise ausgeführt wurde wie der rechte (befahrene) Fahrstreifen. (vgl. [8], Seite 25)
Daraus ergab sich jedoch das Problem, dass zufolge der ursprünglichen Projektkonzeption ein unbefahrener Bohrkern aus dem Pannenstreifen im Labor mit Hilfe der Prüfanlage nach Wehner/-Schulze bis zum Erreichen der Griffigkeit des befahrenen Bohrkernes aus der rechten Fahrspur poliert hätte werden sollen, um so eine Kalibrierung anhand der Verkehrslast vorzunehmen zu können. Da jedoch die Bauweise bei einigen Strecken nicht ident war, wurden alternativ Bohrkerne aus der Mitte der rechten befahrenen Fahrspur genommen, mit der Annahme so eine Anfangsgriffigkeit ermitteln zu können. Jedoch stellte sich heraus, dass die ermittelten Anfangsgriffigkeiten (mittels Prüfanlage nach Wehner/Schulze) dieser Bohrkerne zu weit vom wahrscheinlichen Anfangsniveau eines unbefahrenen Bohrkernes entfernt lagen. (vgl. [8], Seite 25)
Um dieses Problem zu lösen, ging man dazu über, mittels Sandstrahlen der Bohrkerne ein künstliches Startniveau zu schaffen. Dies ermöglicht, nicht nur Laborversuche an den Bohrkernen aus der Fahrbahnmitte durchzuführen, sondern auch an bereits befahrenen Bohrkernen, was wiederum die Entnahme der Bohrkerne aus Fahrbahnmitte oder Pannenstreifen überflüssig macht. (vgl. [8], Seite 25)

Tab. 3.1: Gewählte Messstrecken gemäß PROGRIP (vgl. [8], Seite 25)

Strecke	Bauweise	Bezeichnung	km_von	km_bis	Länge [km]	Baujahr
65	WB	A0001_L	72,55	72,50	0,05	2003
7	WB	A0001_L	99,00	98,95	0,05	1999
67a	SMA	A0001_L	104,25	104,00	0,25	2012
67	SMA	A0001_L	107,40	107,20	0,20	2012
77	WB	A0001_L	118,50	118,30	0,20	2006
68	WB	A0001_L	134,70	134,60	0,10	2000
42	SMA	A0001_R	45,50	45,70	0,20	2007
2	WB	A0001_R	70,65	70,75	0,10	2004
63	WB	A0001_R	171,90	171,95	0,05	1994
29	WB	A0002_R	20,50	20,60	0,10	2007
51	SMA	A0021_L	11,88	11,85	0,03	2004
110	SMA	A0021_L	14,04	14,02	0,02	2007
109	SMA	A0021_L	16,53	16,50	0,03	2007
108	SMA	A0021_L	20,40	20,38	0,02	1998

3.2 Mischgut

Für diese Diplomarbeit sind nur die Bohrkerne aus Splittmastixasphalt relevant, deshalb wird in diesem Kapitel nur auf die Zusammensetzung und den Eigenschaften dieses Deckungstyps eingegangen.
Generell besteht Asphalt aus einem Gesteinskörnungsgemisch und Bitumen, die miteinander eine

grenzflächenaktive Verbindung eingehen. Die Zusammensetzung besteht dabei aus zirka 93 bis 96 Masseprozent Gestein und 4 bis 7 Masseprozent Bitumen als Bindemittel. Durch das Mischungsverhältnis sowie der Materialeigenschaften (z.B. Bindemittelsorte, Gesteinssorte) werden die Werkstoffkennwerte und das Materialverhalten definiert. Dabei übernimmt die Gesteinskörnung die Stützfunktion im Asphalt. (vgl. [14], Seite 170)
Splittmastixasphalt ist ein Asphaltmischgut, welches eine Ausfallkörnung in der Sieblinie aufweist. Das Gesteinskörnungsgemisch besteht dabei aus einem hohem Splittanteil, wenig Sand und Feinsplitt (Ausfallkörnung) sowie viel Füller. Dadurch entsteht ein sich selbst abstützendes grobkörniges Splittgerüst, dessen Hohlräume weitgehend durch einen Mörtel aus Asphaltmastix (Bitumen und Füller) ausgefüllt werden. Dadurch hat Asphaltmischgut eine hohe Tragfähigkeit sowie eine gute Makrotextur. (vgl. [14], Seite 170)
Um zu verhindern, dass der relativ dicke Bitumenfilm während des Transportes und des Einbaus nicht abläuft, bedarf es stabilisierender Zusätze als Bindemittelträger. Dafür kommen Zellulose-Faserstoffe von fünf Millimeter Länge und 50 Mikrometer Dicke, synthetische Kieselsäure oder Polymere zur Anwendung. Da sich das Splittgerüst selbst abstützt, müssen besonders zertrümmerungsarme Gesteine (Schlagzertrümmerungswert[1] $SZ_{8/12} < 18\%$, Los-Angeles- Wert[1] LA_{20}) verwendet werden, um die Kraftübertragung sicherzustellen. (vgl. [14], Seite 170)
Aufgrund des hohen Splittanteils werden die Kräfte vom Fahrzeug auf die Fahrbahndecke überwiegend über das Splitkorn übertragen, weshalb diese Gesteine einen hohen Polierwiderstand aufweisen müssen , weil diese am meisten der hohen Polierbeanspruchung durch den Reifen ausgesetzt sind. (vgl. [14], Seite 170)
Auf hochbelasteten Straßen sowie im hochrangigen Straßennetz werden überwiegend Deckschichten aus Splittmastixasphalt mit polymermodifiziertem Bitumen verwendet. Sie minimieren die Gefahr der Spurrinnenbildung, haben einen geringen Verschleiß und haben sich auch auf Straßen bewährt, welche zeitweise mit Spikes-Reifen befahren wurden. [35] (vgl. [14], Seite 170)
Bei der Herstellung und Verarbeitung muss ein besonderes Augenmerk auf die Temperatur gelegt werden, da es bei einer zu hohen Einbautemperatur zum Ablaufen des Bindemittels kommt, bei einer zu geringen Temperatur jedoch die optimale Verdichtung behindert wird. Auch bei der Verdichtung sollte sorgfältig vorgegangen werden. Nach der statischen Verdichtung bei hoher Temperatur sollten maximal drei Übergänge mit der Vibrationswalze folgen. Um ein Hochziehen des feinen Mörtels zu vermeiden, sollte auf Gummiradwalzen verzichtet werden. Um eine ausreichend hohe Anfangsgriffigkeit zu gewährleisten, kann in den warmen Splittmastixasphalt (>100 $°C$) Edelsplitt oder ein Brechsand-Splitt-Gemisch statisch eingewalzt werden, um den dünnen Mörtelüberzug an der frischen Fahrbahnoberfläche zu durchbrechen.(vgl. [14], Seite 170ff)

[1] ÖNORM EN 1097-2: 2018 03 01 – Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 2: Verfahren zur Bestimmung des Widerstandes gegen Zertrümmerung

Kapitel 4

Prüfprogramm nach PROGRIP 2

Im Zuge von PROGRIP wurde ein Laborverfahren zur Griffigkeitsprognose festgelegt. Nach vorangegangenen Literaturstudien im Zuge von PROGRIP wurden Untersuchungen an Probekörper mit der Prüfmaschine nach Wehner/Schulze durchgeführt, um die optimale Konfiguration hinsichtlich der Sandstrahlleistung und Polierleistung für das Prüfverfahren festlegen zu können. (vgl. [8], Seite 31ff)

4.1 Sandstrahlleistung

Für die Sandstrahlleistung wurden die Parameter Strahlwinkel, Strahldauer, Abstand der Strahldüse zur Probenoberfläche und die Qualität des Strahlmittels (Korund) untersucht. (vgl. [8], Seite 33)

4.1.1 Strahlwinkel

Für den Strahlwinkel wurde der in der Norm prEN 12697-49 vorgegebene Winkel von 75 Grad übernommen, da eine Änderung des Winkels keine eindeutig erkennbaren Änderungen des Messwertes ergaben. (vgl. [8], Seite 33)

4.1.2 Strahldauer, Abstand der Strahldüse und Qualität des Strahlmittels

Bei der Strahldauer und dem Abstand der Strahldüse zur Probenoberfläche wurden unterschiedliche Parameter miteinander kombiniert. (vgl. [8], Seite 33)
In Tabelle 4.1 sind die Variationen ersichtlich.

Tab. 4.1: Variation der Strahlprogamme (vgl. [8], Seite 34)

Progamm	Winkel Strahldüse [°]	Autom. Strahl-programm / Strahlkabine Fa. Freundl	Strahldauer [sec]	Arbeits-druck [bar]	Abstand Strahldüse - Probenober-fläche [mm]
Programm A	75	5	85	5	123 ± 5
Programm C	75	4 (2x)	2 x 110	5	63 ± 5
Programm 0,5 C	75	4	110	5	63 ± 5

Um die Einflüsse der verschiedenen Programme zu testen, wurde die Veränderung der Griffigkeit an industriell hergestellten polierten Granitfliesen untersucht. Dabei wurde nach der Sandstrahlung die Griffigkeit gemessen, sowie nach 1533, 4071 und 9108 Überrollungen. Dieser Vorgang wurde fünfzehn Mal an jeder Fliese wiederholt. (vgl. [8], Seite 34)
Dabei konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden (vgl. [8], Seite 34f):

- Wird eine polierte Fliese erneut sandgestrahlt, so erreicht die Griffigkeit unabhängig von der zuvor geleisteten Polierbeanspruchung wieder eine Maximalgriffigkeit, sofern die gerätebedingten Rahmenbedingungen wie Strahlvorrichtung und Strahlmittel gleich bleiben. Dabei ist es nicht relevant, welches Strahlprogramm gewählt wird.
- Geringe Unterschiede im Sandstrahlen ergeben auch nahezu die gleichen Unterschiede nach der Polierarbeit. Das bedeutet, dass die Anfangsgriffigkeit einen wesentlichen Einfluss auf die Griffigkeiten nach den geringen Polierleistungen hat.
- Wurde die Maximalgriffigkeit bei einem Prüfkörper erreicht, so kann davon ausgegangen werden, dass auch bei erneuter gleicher Polierleistung wieder dieselben Griffigkeiten ermittelt werden können.
- Das hat zur Folge, dass nicht nur unbefahrene Bohrkerne aus Straßenoberflächen oder im Labor hergestellte Prüfkörper getestet werden können, sondern auch befahrene Bohrkerne, welche durch langjährige Überrollungen durch Fahrzeuge bereits poliert wurden, wieder durch Sandstrahlen regeneriert werden können und anschließend einer erneuten Polierbeanspruchung unterzogen werden können.
- Im Zuge der Untersuchungen konnte ein deutlicher Einfluss der Qualität des Strahlmittels (Korund) auf die maximal erreichbare Griffigkeit festgestellt werden. Deshalb wird der Korund spätestens nach zehn Strahldurchgängen erneuert.

Basierend auf den Erkenntnissen durch die Versuche an Granitfliesen wurden im nächsten Schritt Prüfkörper aus Splittmastixasphalt hergestellt und der Versuchsablauf übertragen. Dabei wurden die Griffigkeiten der Prüfkörper nach dem Sandstrahlen beziehungsweise nach unterschiedlichen Polierleistungen gemessen. (vgl. [8], Seite 36)

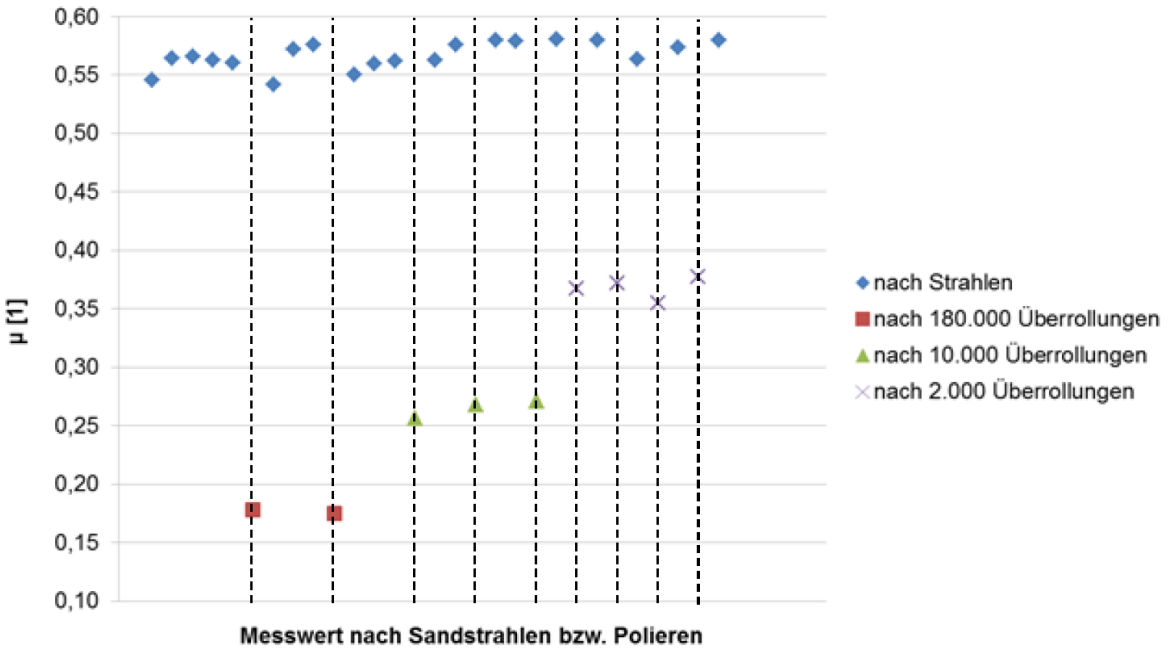


Abb. 4.1: Griffigkeitsmesswerte an einem Splittmastixasphalt-Prüfkörper ([8], Seite 36)

Dadurch konnten die Beobachtungen aus den Voruntersuchungen an Granitfliesen bestätigt werden. Auch bei den Splittmastixasphalt-Prüfkörpern stellt sich eine Maximalgriffigkeit unter gegebenen Rahmenbedingungen (Strahlkabine, Strahlmittel, etc.) ein. Die unterschiedlichen Strahlprogramme haben dabei keinen erkennbaren Einfluss auf die erreichbare Maximalgriffigkeit. Um jedoch die Oberfläche für mehrmalige Regenerationen zu schonen, wird in weiterer Folge das Programm 0,5 C für die Ermittlung der Maximalgriffigkeit verwendet. Nach einer erfolgten Polierung kann durch Sandstrahlen wieder die Maximalgriffigkeit erreicht werden und es werden dieselben Griffigkeiten durch die definierte Polierleistung am selben Prüfkörper erreicht. Wie in Abbildung 4.1 ersichtlich, bedarf es nach einer hohen Polierleistung von 180.000 Überrollungen mehrere Strahldurchgänge, um die maximale Griffigkeit wieder zu erreichen. Nach 2000 Überrollungen genügt bereits ein Strahldurchgang. (vgl. [8], Seite 36f)
Demnach ist es durch die Regenerierung möglich, mehrere Prüfzyklen am selben Prüfkörper durchzuführen, da durch definiertes Sandstrahlen ein künstliches Startniveau für die Griffigkeit geschaffen werden kann, welches mehrmals wiederholbar ist. Dies erlaubt es, auch befahrene Bohrkerne zur Griffigkeitsprognose heranzuziehen. (vgl. [8], Seite 37)

4.2 Polierleistung

Für die Untersuchungen der Polierleistung wurde das Quarzmehl-Wasser-Gemisch untersucht, welches während den Überrollungen in der Prüfanlage nach Wehner/Schulze zugeführt wird. Dabei wurden zum einen unterschiedliche Verdünnungsverhältnisse zwischen Quarzmehl und Wasser getestet, zum anderen wurden die Auswirkungen untersucht, wenn nur mit reinem Wasser poliert wird. (vgl. [8], Seite 37)
Dabei wurden jeweils vier Probekörper, hergestellt aus dem Asphaltmischgut SMA 11 PmB 45/80-65, S3, GS, mit unterschiedlichen Mischungsverhältnissen und nur mit reinem Wasser poliert. Dabei wurde neben dem reinen Wasser das Standardverhältnis von 2,4 Kilogramm Quarzmehl in 40 Litern Wasser, ein Mischungsverhältnis von 0,8 Kilogramm je 40 Litern Wasser und eines von 0,24 Kilogramm je 40 Litern Wasser getestet. (vgl. [8], Seite 38)
Aus den Daten ist ersichtlich, dass die Ergebnisse der einzelnen Prüfungen eine größere Streuung aufweisen, wenn dem Wasser weniger Quarzmehl beigemengt wird. Im Mittel beträgt das 95% Konfidenzintervall bei dem Standardverhältnis 2,4 Kilogramm zu 40 Litern 0,052, bei dem Mischungsverhältnis mit 0,8 Kilogramm auf 40 Liter beträgt es 0,55 und bei der Mischung aus 0,24 Kilogramm Quarzmehl bereits 0,088. Der Grund dafür liegt in der Schwankung der Quarzmehlmenge, die sich bei geringeren Verhältnissen von Quarzmehl zu Wasser stärker auswirken. Auslöser für diese Schwankungen sind vor allem Ablagerungen von Quarzmehl auf der Einspannvorrichtung aufgrund von Undichtheiten oder unterhalb des Prüfkörpers, wenn dieser Wasserwegigkeiten aufweist. Diese verlorenen Mengen an Quarzmehl leisten keinen Beitrag mehr bei weiterer Polierung, wodurch dieser Einfluss bei höheren Quarzmehlmengen eher kompensiert wird. (vgl. [8], Seite 38f)
In Abbildung 4.2 ist ersichtlich, dass bereits eine geringe Menge Quarzmehl im Wasser eine starke Polierwirkung im Vergleich zu reinem Wasser hervorruft, welches eine sehr geringe Polierwirkung hat. (vgl. [8], Seite 38)
Aufgrund dieser Versuche wurde ein Mischungsverhältnis von 0,24 Kilogramm auf 40 Liter Wasser gewählt. Ausschlaggebend für diese Wahl war vor allem die sehr starke Polierleistung des Quarzmehles. Bei einem Mischungsverhältnis von 2,4 Kilogramm Quarzmehl zu 40 Liter Wasser wären nur wenige tausend Überrollungen nötig, um das ursprüngliche Griffigkeitsniveau der befahrenen Bohrkerne zu erzielen. Vor allem am Anfang der Poliersimulation nimmt die Griffigkeit rasch ab, was sich vor allem für spätere Prognosen negativ auswirkt, da bereits geringfügige

Abweichungen zu großen Differenzen bei der Griffigkeit führen würden. Bei einer Mischung aus 0,24 Kilogramm Quarzmehl auf 40 Liter Wasser fallen Abweichungen bei den Überrollungszahlen oder von bestimmten Prognoseintervallen bezogen auf das Ergebnis weniger ins Gewicht. (vgl. [8], Seite 38f)

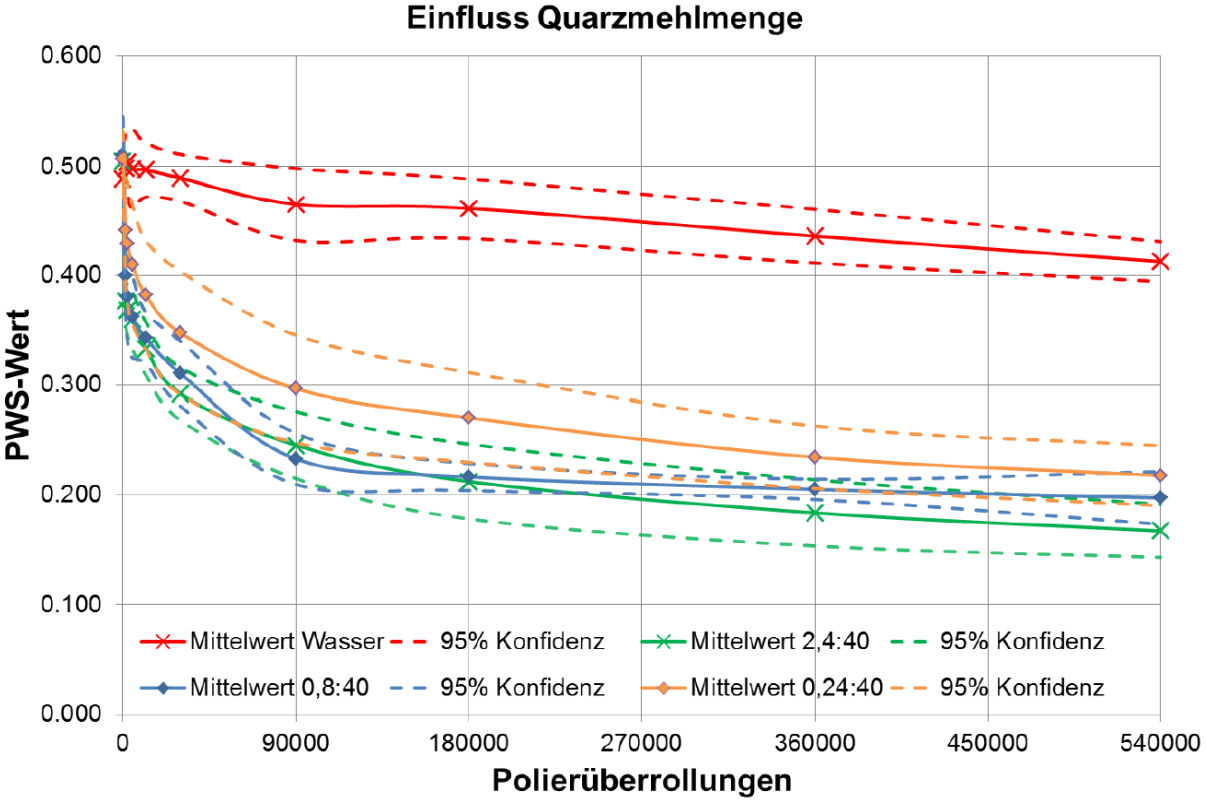


Abb. 4.2: Einfluss der Quarzmehlmenge ([8], Seite 40)

Zur Minimierung der Fehler bei der Reproduzierbarkeit durch Quarzmehlverlust und Abstumpfung der Quarzkörnerkanten wird das Quarzmehl-Wasser-Gemisch nach 180.000 Überrollungen ausgetauscht. (vgl. [8], Seite 39)

4.3 Korrelation Messergebnisse RoadSTAR und Wehner/Schulze

Im Zuge von PROGRIP wurde eine Korrelation zwischen den gemessenen Griffigkeitswerten durch das Messsystem RoadSTAR und jenen mittels Prüfmaschine nach Wehner/Schulze festgestellt. Dies ergab sich durch die Tatsache, dass sowohl die Griffigkeiten mittels RoadSTAR bei der Bohrkernentnahme gemessen wurden, als auch im späteren Verlauf der Reibbeiwert der Bohrkerne mittels Prüfanlage nach Wehner/Schulze ermittelt wurde. In Tabelle 4.2 sind die Mindestwerte der gemessenen Reibbeiwerte im Labor angegeben, um den entsprechenden Reibbeiwert gemessen mit Hilfe des RoadSTARs in Abhängigkeit der entsprechenden Prognosewahrscheinlichkeit zu erreichen. (vgl. [8], Seite 51ff)
Ferner ermöglicht dies für die Erstellung einer Prognose der Griffigkeit im Labor die Festlegung von Richtwerten, welche denen in den Regelwerken angegebenen Zustandswerten entsprechen (siehe Tabelle 4.3). Somit kann an einem vorab im Labor erstelltem Prüfkörper die nötige Anzahl an Überrollungen festgestellt werden, bis entsprechende Zustände eintreten, oder bei vorhandenen

Daten der Verkehrsbelastung sogar der wahrscheinliche Zeitpunkt für das Eintreten eines dieser Zustände vorhergesagt werden. Dafür wird jedoch ein zuverlässiges Prognosemodell benötigt, mit dessen Hilfe die Überrollungen im Labor auf den tatsächlichen Verkehr umgerechnet werden können.

Tab. 4.2: Korrelation Messwerte RoadSTAR – Prüfanlage nach Wehner/Schulze (vgl. [8], Seite 54)

μ_{RS}	Mindestwert μ_{PWS} bei Irrtumswahrsch.: 5%	10%	20%	μ_{RS}	Mindestwert μ_{PWS} bei Irrtumswahrsch.: 5%	10%	20%
0,38	0,277	0,265	0,251	0,68	0,485	0,47	0,453
0,39	0,283	0,271	0,257	0,69	0,494	0,479	0,461
0,4	0,288	0,277	0,263	0,7	0,502	0,487	0,469
0,41	0,294	0,283	0,269	0,71	0,51	0,495	0,478
0,42	0,3	0,288	0,275	0,72	0,519	0,504	0,486
0,43	0,306	0,294	0,281	0,73	0,527	0,512	0,495
0,44	0,312	0,3	0,287	0,74	0,536	0,521	0,503
0,45	0,318	0,306	0,293	0,75	0,544	0,529	0,511
0,46	0,324	0,312	0,299	0,76	0,552	0,537	0,52
0,47	0,329	0,318	0,305	0,77	0,561	0,546	0,528
0,48	0,335	0,324	0,31	0,78	0,569	0,554	0,536
0,49	0,341	0,33	0,316	0,79	0,578	0,563	0,545
0,5	0,347	0,336	0,322	0,8	0,586	0,571	0,553
0,51	0,353	0,342	0,328	0,81	0,595	0,579	0,562
0,52	0,359	0,348	0,334	0,82	0,603	0,588	0,57
0,53	0,365	0,354	0,34	0,83	0,612	0,596	0,579
0,54	0,371	0,36	0,346	0,84	0,62	0,605	0,587
0,55	0,379	0,366	0,352	0,85	0,629	0,613	0,595
0,56	0,387	0,372	0,358	0,86	0,637	0,622	0,604
0,57	0,395	0,38	0,364	0,87	0,646	0,63	0,612
0,58	0,403	0,388	0,37	0,88	0,655	0,639	0,621
0,59	0,411	0,396	0,378	0,89	0,663	0,648	0,629
0,6	0,419	0,404	0,386	0,9	0,672	0,656	0,638
0,61	0,428	0,413	0,395	0,91	0,68	0,665	0,646
0,62	0,436	0,421	0,403	0,92	0,689	0,673	0,655
0,63	0,444	0,429	0,411	0,93	0,698	0,682	0,663
0,64	0,452	0,437	0,42	0,94	0,706	0,69	0,672
0,65	0,461	0,446	0,428	0,95	0,715	0,699	0,68
0,66	0,469	0,454	0,436	0,96	0,724	0,708	0,689
0,67	0,477	0,462	0,445	0,97	0,732	0,716	0,697

Aufgrund der Tatsache, dass die ASFINAG aus Gründen der Betriebssicherheit vorausschauend Streckenabschnitte saniert, welche einen Griffigkeitsmangel bekommen könnten, gab es keine Strecken in der Vorauswahl von PROGRIP, welche Griffigkeiten von weniger als 0,52 aufwiesen, gemessen mittels RoadSTAR. (vgl. [8], Seite 51)

Tab. 4.3: Ableitung von Grenzwerten für das Labor aus Straßengriffigkeitsgrenzwerten gemessen mittels RoadSTAR für relevante österreichische Zustandswerte (vgl. [9], Seite 40)

μ_{RS}	Zustandswert	Regelwerk	μ_{PWS}	Mindestwert μ_{PWS} bei Irrtumswahrscheinlichkeit		
				5%	10%	20%
0,38	Schwellenwert	RVS 13.01.15	-	-	-	-
0,45	Warnwert	RVS 13.01.15	-	-	-	-
0,52	Keine Übernahme	RVS 08.16.01	0,287	0,354	0,339	0,321
0,59	Sollwert	RVS 08.16.01	0,345	0,411	0,396	0,378
0,75	Zielwert	RVS 13.01.15	0,478	0,544	0,529	0,511

4.4 Verfahrensablauf zur Griffigkeitsprognose gemäß PROGRIP 2

Zufolge der Möglichkeit einer Regenerierbarkeit der Prüfkerne beziehungsweise der Bohrkerne, welche im Zuge von PROGRIP festgestellt wurde, können für PROGRIP 2 die befahrenen Bohrkerne für die Erstellung eines Prognoseverfahrens herangezogen werden.
In PROGRIP wurde bereits die Griffigkeit der befahrenen Bohrkerne mit Hilfe der Prüfmaschine nach Wehner/Schulze ermittelt (siehe Tabelle 4.5). Dadurch können die Bohrkerne direkt sandgestrahlt werden, um die Oberfläche zu regenerieren und die Maximalgriffigkeit zu erhalten, um im Anschluss durch simulierte Überrollungen durch die Prüfmaschine nach Wehner/Schulze wieder poliert werden zu können, bis die ursprünglich gemessene Griffigkeit wieder erreicht wird.
Der exakte Verfahrensablauf lautet wie folgt:

1. Der Bohrkern wird mit Wasser und Bürste vorsichtig gereinigt und anschließend in die Einspannvorrichtung eingebaut.

2. Der Bohrkern wird in der Sandstrahlkabine der Firma Freundl mit dem Strahlprogramm 4 (entspricht dem Programm $0,5°$C) sandgestrahlt. Der Winkel der Strahldüse muss auf 75 Grad eingestellt sein. Die Strahldauer beträgt 110 Sekunden und der Abstand der Strahldüse zur Probenoberfläche beträgt 63 ± 5 Millimeter. Es ist darauf zu achten, dass vor jedem neuen Bohrkern der Korund (27,5 kg) erneuert wird. Der gebrauchte Korund wird vom Über- (1mm) und Unterkorn (0,5mm) befreit und kann im Anschluss wieder für den nächsten Bohrkern verwendet werden. Der Eingangsdruck bei der Strahlkabine muss 5 $\pm$ 0,2 bar betragen.

3. Die Einspannvorrichtung wird nach dem Sandstrahlen gründlich mit Druckluft gereinigt, um Staub und Korund zu beseitigen. Im Anschluss wird die Einspannvorrichtung auf dem Probentisch der Prüfanlage nach Wehner/Schulze montiert.

4. Bevor die Griffigkeit in der Prüfstation ermittelt werden kann, müssen der Bohrkern und die Prüfgummis fünf Minuten lang mit 10 $\pm$ 0,5 Grad Celsius kaltem Wasser gekühlt werden. Es ist darauf zu achten, dass die erforderliche Prüfwassermenge von 20 Liter pro Minute gewährleistet ist.

5. Nach abgeschlossener Prüfung wird die Einspannvorrichtung wieder ausgebaut und gründlich mit Druckluft getrocknet.

6. Wenn der Bohrkern und die Vorrichtung vollständig trocken ist, werden die Schritte zwei bis vier so lange wiederholt, bis die Maximalgriffigkeit erreicht ist, jedoch muss mindestens

fünf Mal sandgestrahlt werden. Die Kriterien, ob die Maximalgriffigkeit erreicht ist, wurden wie folgt definiert:

- Die Differenz aus dem fünften beziehungsweise letzten Messwert und dem dritten beziehungsweise vorvorletzten Messwert muss kleiner als ±0,015 μ_{PWS}- Einheiten sein.
- Die Standardabweichung der letzten drei Messwerte muss kleiner als ±0,015 μ_{PWS}-Einheiten sein.

Wird eines der beiden Kriterien nicht erfüllt, so müssen die Schritte zwei bis vier so lange wiederholt werden, bis beide Kriterien erfüllt sind. Die zuletzt gemessene Griffigkeit entspricht dann der Maximalgriffigkeit.

7. Wenn alle Kriterien erfüllt sind, kann mit dem Simulieren der Überrollungen in der Polierstation begonnen werden. Dafür wird der Sollwert der Überrollungen gemäß Tabelle 4.4 eingestellt und der Poliervorgang gestartet. Das Verhältnis aus Quarzmehl und Wasser muss 0,24 Kilogramm zu 40 Liter ausmachen. Die Temperatur des Gemisches sollte 20 $°C$ betragen.

Tab. 4.4: Polierschritte gemäß PROGRIP (vgl. [8], Seite 41)

Auszuführende Überrollungen	Summarische Überrollungen	Durchführung
500	500	obligatorisch
1.000	1.500	obligatorisch
1.500	3.000	obligatorisch
3.000	6.000	obligatorisch
6.000	12.000	obligatorisch
18.000	30.000	obligatorisch
60.000	90.000	obligatorisch
90.000	180.000	obligatorisch
90.000	270.000	nach Bedarf
90.000	360.000	nach Bedarf
180.000	540.000	nach Bedarf
180.000	720.000	nach Bedarf

8. Wenn der Poliervorgang abgeschlossen ist, wird die Einspannvorrichtung mit dem Spülprogramm für 120 Sekunden gespült.

9. Es wird zur Prüfstation gewechselt, wo die Griffigkeit erneut gemessen wird. Auch hier müssen der Bohrkern und die Prüfgummis fünf Minuten lang mit 10 ± 0,5 Grad Celsius kaltem Wasser gekühlt werden, bevor der Messwert ermittelt wird. Es ist darauf zu achten, dass die erforderliche Prüfwassermenge von 20 Liter pro Minute gewährleistet ist.

10. Nach erfolgter Prüfung wird wieder zur Polierstation gewechselt, wo gemäß Tabelle 4.4 der nächste Polierschritt durchgeführt wird.

11. Die Schritte acht bis zehn werden so lange wiederholt, bis 180.000 Überrollungen erreicht wurden. Der Endwert der gemessenen Griffigkeit wird dann mit den Ausgangswerten aus PROGRIP verglichen. Sollte die Griffigkeit noch höher sein als der Ausgangswert

aus Tabelle 4.5, dann muss so lange gemäß Tabelle 4.4 poliert werden, bis dieser Wert erreicht beziehungsweise unterschritten wurde. Es ist darauf zu achten, dass nach 90.000 Überrollungen 32 Gramm Quarzmehl dem Gemisch wieder beigemengt werden müssen, um Ablagerungen und Verluste wieder auszugleichen.

Tab. 4.5: Ausgangswerte der Griffigkeit aus PROGRIP (vgl. [8], Seite 118ff)

Bohrkern	Mischgut	Ausgangswert μ_{PWS}
42-3	SMA	0,379
42-4	SMA	0,379
51-2	SMA	0,382
51-3	SMA	0,390
51-4	SMA	0,384
67-2	SMA	0,420
67-4	SMA	0,420
67a-2	SMA	0,429
67a-4	SMA	0,423
108-3	SMA	0,363
108-4	SMA	0,371
109-3	SMA	0,391
109-4	SMA	0,403
110-1	SMA	0,379
110-2	SMA	0,378

4.5 Auswertung der Messdaten

Die während einer Prüfung ermittelten Messdaten werden digital an die Auswertesoftware am Computer übertragen. Die wichtigsten aufgezeichneten Daten sind dabei der Reibungsbeiwert μ_{PWS} und die Bahngeschwindigkeit der Prüfgummis, da in weiterer Folge diese beiden Werte in einem Diagramm in Korrelation gestellt werden. In Abbildung 4.3 ist so ein Korrelationsdiagramm exemplarisch dargestellt. (vgl. [5], Seite 37)
Die rote Linie stellt dabei den Verlauf des Reibungsbeiwertes in Abhängigkeit der Geschwindigkeit dar. Wie zu erkennen ist, läuft der Gleitvorgang nicht gleichmäßig ab. Dies hängt damit zusammen, dass aufgrund der unregelmäßigen Prüfkörperoberfläche und der Geschwindigkeit beziehungsweise der Wasserfilmdicke die horizontale Reibungskraft variiert. Aber auch die Verformbarkeit des Prüfgummis hat durch dessen Deformationen einen nicht unwesentlichen Einfluss auf die Griffigkeitsschwankung. (vgl. [5], Seite 37)
Um den erforderlichen Reibbeiwert für den Prüfkörper festzustellen, wird jener Wert bei 60 Kilometern pro Stunde herangezogen. Die Definition, den Reibbeiwert mittels Prüfanlage nach Wehner/Schulze bei 60 Kilometer pro Stunde zu bestimmen, erfolgte durch die Technische Universität Berlin. Aufgrund ihrer langjährigen Erfahrungen konnten sie bei dieser Geschwindigkeit die besten Übereinstimmungen zwischen den im Labor ermittelten Messwerten und jenen des Stuttgarter Reibungsmessers erzielen. (vgl. [5], Seite 38)

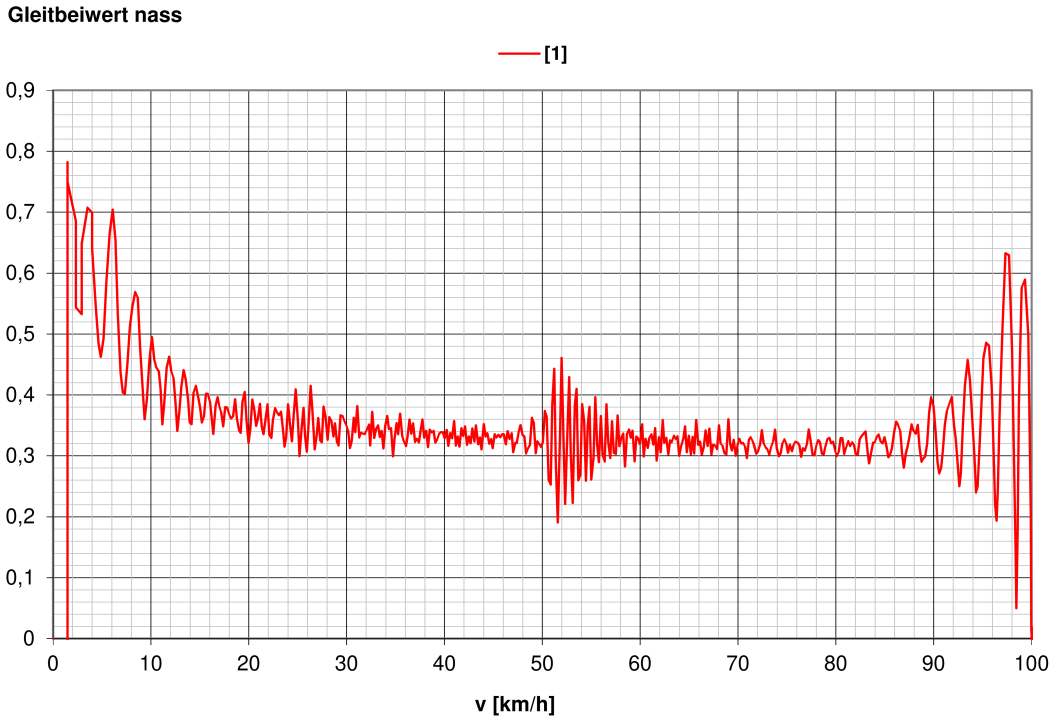


Abb. 4.3: Nicht geglättetes Gleitbeiwert–Geschwindigkeits Diagramm

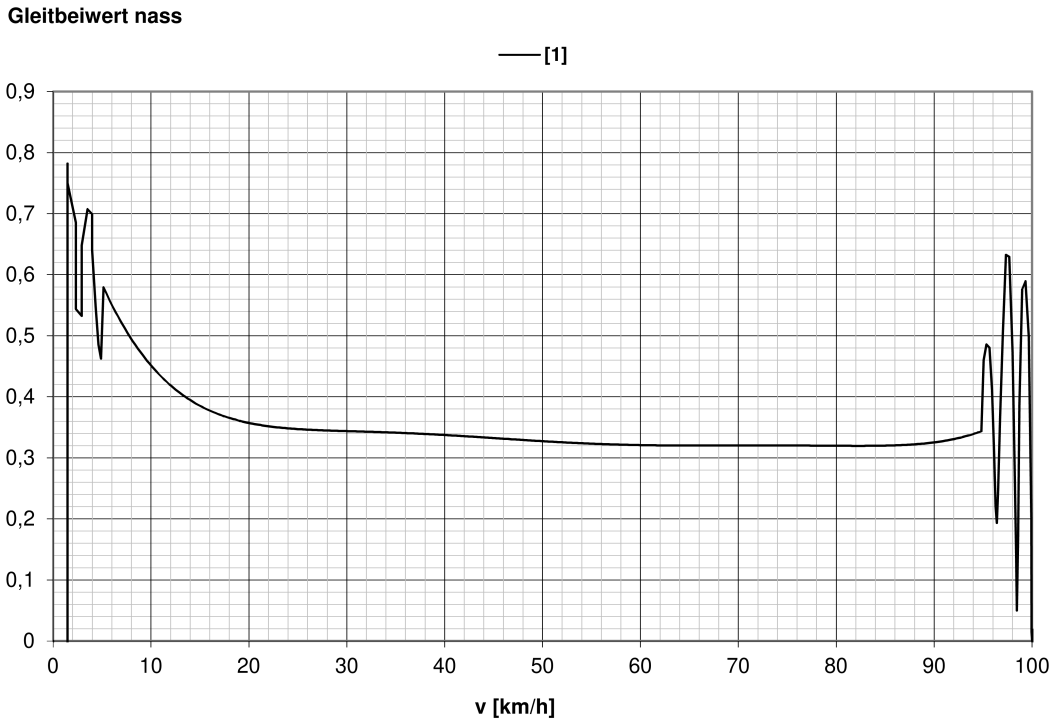


Abb. 4.4: Geglättetes Gleitbeiwert–Geschwindigkeits Diagramm

Aufgrund der großen Schwankungen wäre es jedoch nicht möglich, einen klar definierten Reibungsbeiwert zu ermitteln. Deshalb wird der in Abbildung 4.3 dargestellte Verlauf durch ein Polynom sechster Ordnung angenähert. Die dadurch geglättete Kurve ist in Abbildung 4.4 dargestellt. (vgl. [5], Seite 38)
Somit lässt sich die Griffigkeit bei der gewünschten Bahngeschwindigkeit im Bereich von 5 bis 95 Kilometern pro Stunde zuverlässig ermitteln. Die für diese Diplomarbeit erforderlichen Reibungswerte bei 60 Kilometern pro Stunde werden durch die Auswertesoftware automatisch ermittelt und in einer Tabelle zusammengefasst.
Neben dem Reibungsbeiwert werden noch Datum und Uhrzeit, Überrollungen, Startgeschwindigkeit und Bremsweglänge von 60 auf 5 Kilometer pro Stunde dokumentiert. (vgl. [5], Seite 39)

Kapitel 5

Prüfergebnisse

In diesem Kapitel werden die Prüfergebnisse dargestellt und die dazugehörige Auswertung kurz erläutert. Abschließend werden die Ergebnisse kurz zusammengefasst.

5.1 Streckenübersicht

Um einen Überblick über die gewählten Messstrecken zu bekommen, sind die Entnahmestellen der Bohrkerne im österreichischen Autobahnen- und Schnellstraßennetz dargestellt. In Abbildung 5.1 ist der nordöstliche Teil von Österreich abgebildet, in dem die Stellen der gezogenen Bohrkerne mit den dazugehörigen Bezeichnungen der Messstrecke eingezeichnet sind.

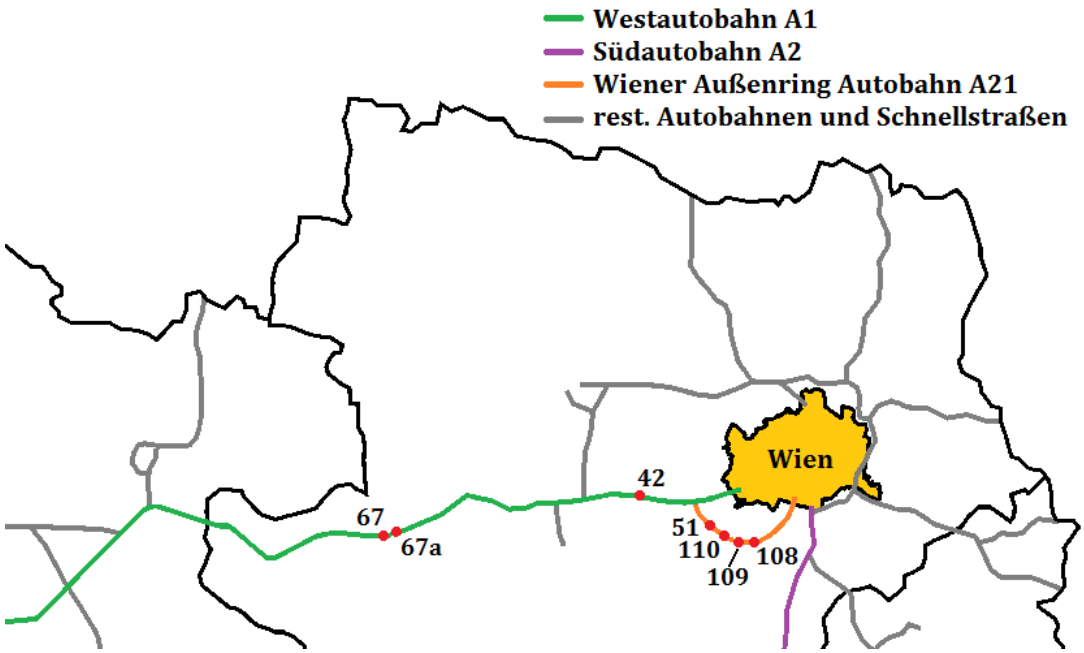


Abb. 5.1: Österreichisches A+S-Netz mit eingezeichneten Entnahmestellen der Bohrkerne

Die Griffigkeiten der ausgewählten Messstrecken wurden unmittelbar vor oder nach dem Ziehen der Bohrkerne zweimal mit Hilfe des RoadSTAR gemessen und ein Mittelwert daraus gebildet. Dabei wurde sowohl die rechte befahrene Radspur des ersten Fahrstreifens als auch der Pannenstreifen oder die Mitte des ersten Fahrstreifens gemessen, abhängig von der Entnahmestelle der Bohrkerne.
Um die im Labor festgestellten Überrollungen dem tatsächlichen Verkehr gegenüberstellen zu können, muss noch die entsprechende Verkehrsbelastung bekannt sein. Deshalb wurden neben den Griffigkeitswerten auch die verkehrsmesstechnischen Zahlen zusammengetragen, die für eine Griffigkeitsprognose erforderlich sind.

Tab. 5.1: Ermittelte Griffigkeiten auf Splittmastixasphalt-Messstrecken durch den RoadSTAR (vgl. [8], Seite 29)

Messstrecke	μ_{RS} Fahrspur	μ_{RS} Pannenstreifen
42	0,66	0,85
51	0,64	0,89
67	0,75	0,83
67a	0,67	0,81
108	0,64	0,90
109	0,67	0,97
110	0,64	0,94

Die Verkehrsbelastungen beruhen auf Daten der ASFINAG, welche für definierte Streckenabschnitte je Fahrbahnrichtung bekannt sind. Daraus wurden für die Messstrecken die Verkehrsbelastungen von 2009 bis 2014 extrahiert. Durch Extrapolieren eines angenäherten Verkehrsaufkommens konnte eine Gesamtsumme berechnet werden. In Tabelle 5.2 sind die wichtigsten Verkehrsdaten für die Splittmastixasphalt-Messstrecken zusammengefasst.

Tab. 5.2: Verkehrsdaten der Messstrecken (vgl. [8], Seite 81)

Mess-strecke	JDTV	JDTLV	Jahres Verkehr bis 2013 [Mio Kfz]	Gesamt-Verkehr bis 2013 [Mio Kfz]	Anzahl Fahrstreifen	Breite Fahr-streifen [m]	Anteil Kfz rechter Fahrstreifen [%]
2	27379	4117	9	90	3	4,92	34
7	25926	3968	14	132	2	5,63	53
29	48214	3416	6	106	4	4,5	31
42	26186	4096	6	57	3	4,08	33
51	19416	3474	9	64	2	5,75	57
63	40234	5024	19	279	3	4,92	29
65	24119	4290	10	88	3	4,92	34
67	28560	4690	1	10	3	4,92	34
67a	28560	4690	1	10	3	4,92	36
68	23174	4038	13	110	3	4,92	34
77	24168	4206	7	62	3	4,92	34
108	17403	3107	15	95	2	5,5	64
109	19951	3632	6	44	2	5,75	59
110	19951	3632	6	44	2	5,75	57

Um jedoch ein Prognosemodell erstellen zu können, fehlen noch die Messergebnisse der Verkehrssimulation mit Hilfe der Prüfanlage nach Wehner/Schulze an den regenerierten Bohrkernen aus der Fahrspur. In den folgenden Abschnitten sind die kompakt zusammengefassten Daten der Prüfungen dargestellt. Es wurden bei allen Strecken jeweils vier Bohrkerne aus der Fahrspur des ersten Fahrstreifens und vier Bohrkerne aus dem Pannenstreifen oder der Mitte der Fahrspur gezogen, wobei jeweils zwei beziehungsweise drei der vier befahrenen Bohrkerne im Zuge dieser Diplomarbeit geprüft wurden.

5.2 Strecke 42

Die Messstrecke 42 befindet sich auf der Westautobahn (A1) zwischen Kilometer 45,5 und 45,7 auf der Höhe von Böheimkirchen (siehe Abbildung 5.1). Die Länge des Messabschnittes beträgt 200 Meter. Die Fahrbahndecke wurde 2007 erneuert und seit der Herstellung bis 2013 sind zirka 57 Millionen Fahrzeuge über diesen Streckenabschnitt gefahren. Bei der Deckschicht handelt es sich wie bei allen anderen Messstrecken um Splittmastixasphalt.

Tab. 5.3: Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen nach den Sandstrahlzyklen für die Strecke 42

	Griffigkeit BK 42-3	Griffigkeit BK 42-4
1. Durchgang	0,598	0,590
2. Durchgang	0,608	0,590
3. Durchgang	0,600	0,593
4. Durchgang	0,602	0,585
5. Durchgang	0,597	0,586
Differenz 3. und 5. Durchgang (<0,015)	-0,003	-0,007
Standardabweichung 3. bis 5. Durchgang (<0,015)	0,003	0,004

Im Zuge der Regenerierung wurden die Griffigkeiten nach jedem Sandstrahl-Durchgang in der Prüfmaschine nach Wehner/Schulze gemessen. In Tabelle 5.3 sind die Ergebnisse zusammengefasst. Die Differenz der Reibungsbeiwerte zwischen dritten Durchgang und fünften Durchgang ist bei beiden Prüfkörpern kleiner als 0,015 und auch die Standardabweichung der letzten drei Messergebnisse (dritter Durchgang bis fünfter Durchgang) ist kleiner als 0,015. Somit ist gemäß Kapitel 4.4 die Maximalgriffigkeit erreicht, da die beiden Kriterien erfüllt sind.
Somit beträgt bei Bohrkern 42-3 die Maximalgriffigkeit 0,597, bei Bohrkern 42-4 beträgt sie 0,586. Durch die im Anschluss an das Sandstrahlen erfolgte Simulation der Verkehrsbelastung mittels Polierrollen konnte der Griffigkeitsverlauf durch periodische Messungen aufgezeichnet werden. In Abbildung 5.2 ist der Verlauf für beide Bohrkerne dargestellt. Da nach 180.000 Überrollungen noch nicht das ursprüngliche Griffigkeitsniveau unterschritten wurde, waren weitere 90.000 Überrollungen notwendig, um dieses zu unterschreiten.
Mit Hilfe der gemessenen Daten konnte dann ein Mittelwert aus den Messergebnissen der beiden Bohrkerne gebildet werden. Um eine spätere Korrelation zwischen Überrollungen und Verkehrslast leicht herstellen zu können, wurde eine logarithmische Regression für die gemittelten Werte erstellt. Die logarithmische Regressionskurve wurde gewählt, da diese auch bei PROGRIP zur Auswertung verwendet wurde, und so die Anwendbarkeit besser überprüft werden kann. Aufgrund der hochsignifikanten Angleichung der Regressionskurve an die Mittelwerte der PWS-Werte ist eine genaue Interpolation möglich. Diese Herangehensweise wird auch für die folgenden Messstrecken angewandt.

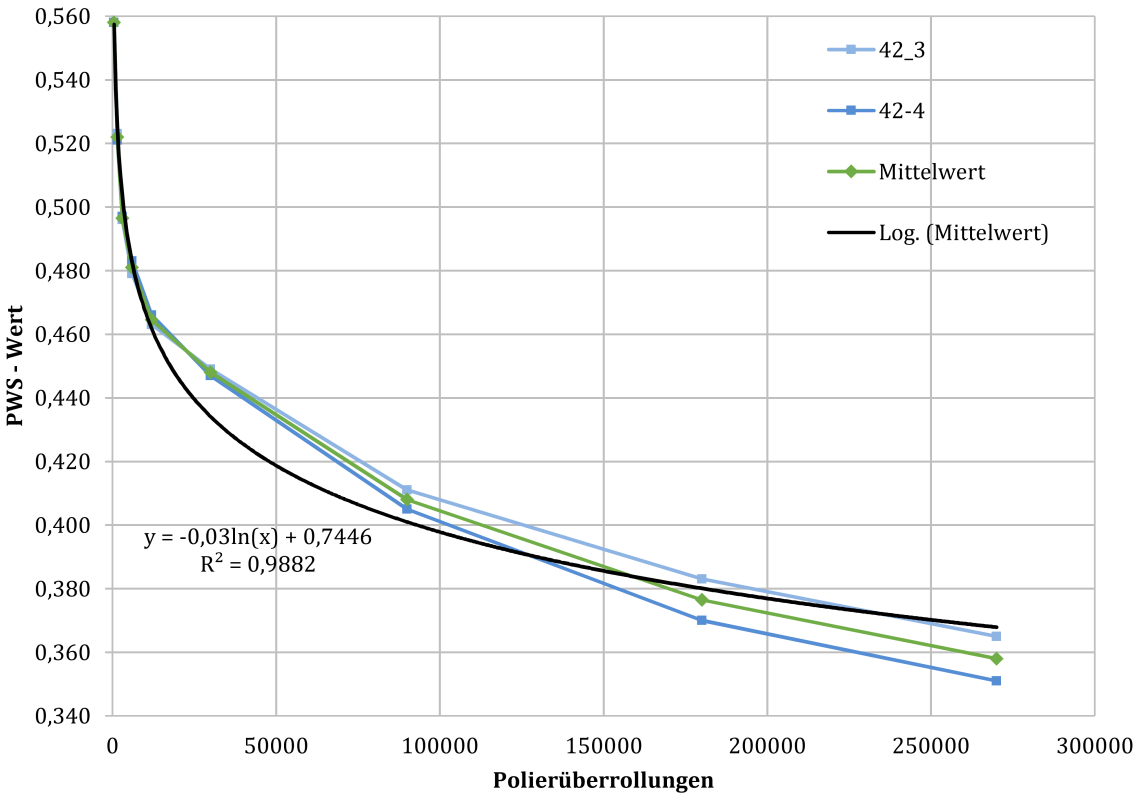


Abb. 5.2: Griffigkeitsentwicklung durch Polierüberrollungen der Bohrkerne aus Messstrecke 42

5.3 Strecke 51

Die rund 30 Meter lange Messstecke 51 befindet sich auf der Wiener Außenring Autobahn zwischen Kilometer 11,85 und 11,88 (siehe Abbildung 5.1).

Tab. 5.4: Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen nach den Sandstrahlzyklen für die Strecke 51

	Griffigkeit BK 51-2	Griffigkeit BK 51-3	Griffigkeit BK 51-4
1. Durchgang	0,577	0,557	0,572
2. Durchgang	0,573	0,562	0,563
3. Durchgang	0,576	0,568	0,556
4. Durchgang	0,581	0,565	0,561
5. Durchgang	0,579	0,565	0,560
Differenz 3. und 5. Durchgang (<0,015)	0,004	-0,003	0,003
Standardabweichung 3. bis 5. Durchgang (<0,015)	0,003	0,002	0,002

Die Entnahmestelle befindet sich in der Nähe von Klausen-Leopoldsdorf. Der Fahrbahnbelag in diesem Abschnitt stammt aus 2004. Seit Herstellung bis ins Jahr 2013 haben ungefähr 64 Millionen Fahrzeuge diesen Bereich passiert. In Tabelle 5.4 sind die Messergebnisse der Regeneration zusammengefasst. Alle Kriterien für die Maximalgriffigkeit wurden nach fünf Durchgängen erfüllt.
In Abbildung 5.3 ist die Griffigkeitsentwicklung für die Bohrkerne aus dem Streckenabschnitt 51 ersichtlich. Der ursprüngliche Wert der Griffigkeit wurde bereits nach 180.000 Überrollungen erreicht und auch die logarithmische Regressionslinie der Mittelwerte ergibt ein hohes Bestimmtheitsmaß.

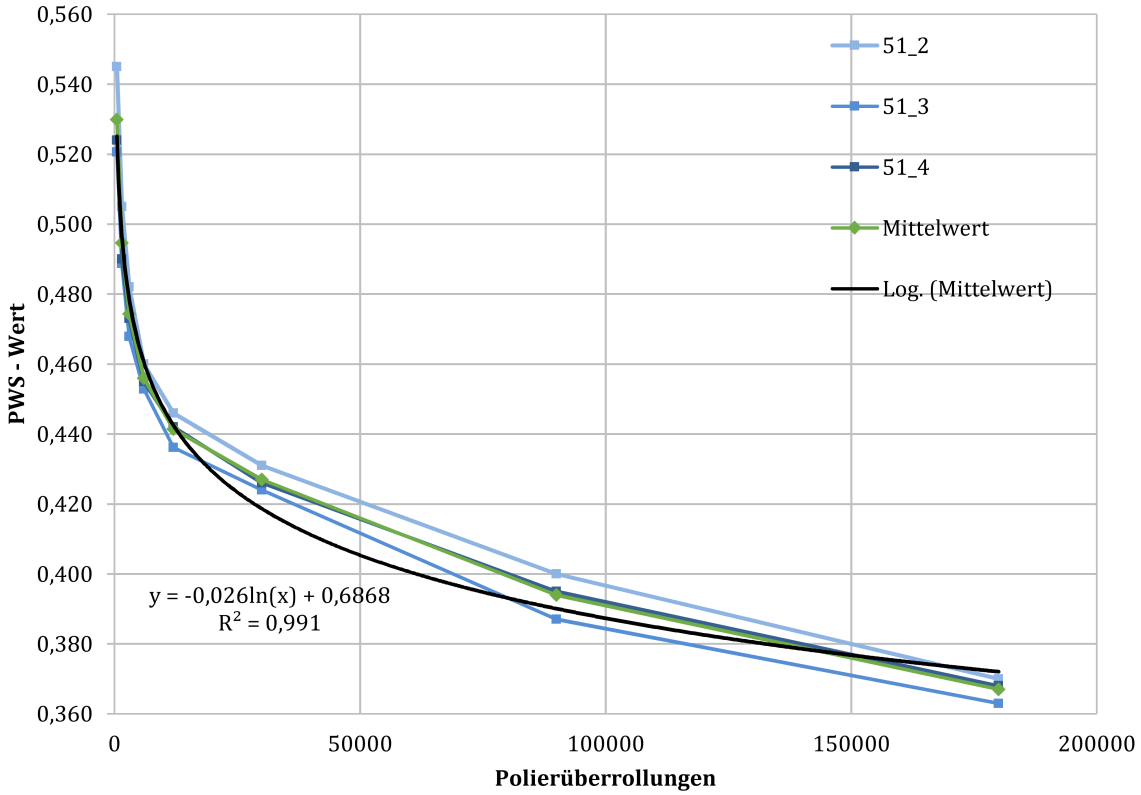


Abb. 5.3: Griffigkeitsentwicklung durch Polierüberrollungen der Bohrkerne aus Messstrecke 51

5.4 Strecke 67

Der Messabschnitt 67 befindet sich auf der Westautobahn A1 in der Nähe der Abfahrt Amstetten Ost. Der Bereich für die Messung erstreckt sich über eine Länge von 200 Meter, beginnend bei Kilometer 107,2 und geht bis Kilometer 107,4. Die aus 2012 stammende Deckschicht hat eine Verkehrsbelastung von zehn Millionen Fahrzeugen in dem einem Jahr bis zur Bohrkernentnahme erfahren. Die beiden Kriterien bei der Regeneration wurden bei beiden Proben eingehalten.
Die Entwicklung der gemessenen Griffigkeit in Abhängigkeit der Überrollungen ist in Abbildung 5.4 dargestellt.

Tab. 5.5: Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen nach den Sandstrahlzyklen für die Strecke 67

	Griffigkeit BK 67-2	Griffigkeit BK 67-4
1. Durchgang	0,579	0,586
2. Durchgang	0,592	0,598
3. Durchgang	0,591	0,597
4. Durchgang	0,587	0,598
5. Durchgang	0,590	0,588
Differenz 3. und 5. Durchgang (<0,015)	-0,001	-0,009
Standardabweichung 3. bis 5. Durchgang (<0,015)	0,002	0,005

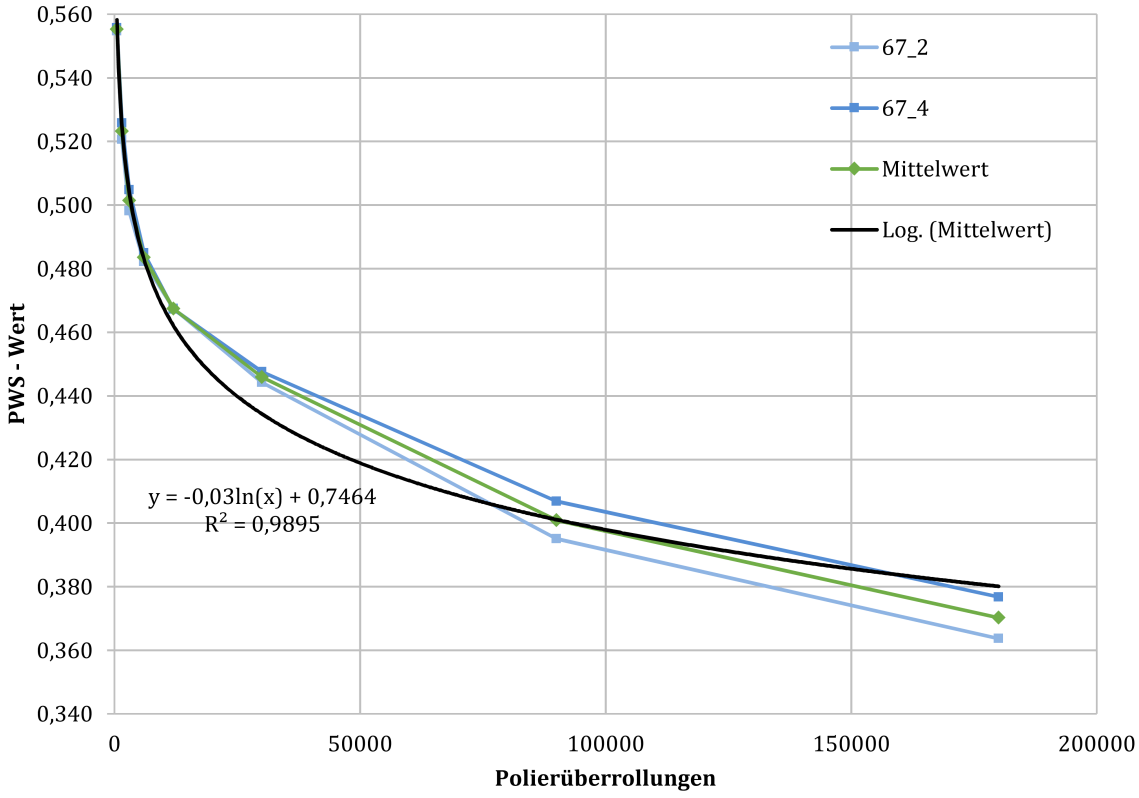


Abb. 5.4: Griffigkeitsentwicklung durch Polierüberrollungen der Bohrkerne aus Messstrecke 67

Nach 180.000 Überrollungen wurde die ursprüngliche Griffigkeit bereits unterschritten, weshalb die Simulation beendet wurde. Auch hier konnte zufolge einer logarithmischen Regression ein hoher Determinationskoeffizient erzielt werden.

5.5 Strecke 67a

Der Abschnitt für die Griffigkeitsprognose für die Strecke 67a befindet sich nur wenige Kilometer vom Messabschnitt 67 entfernt.

Tab. 5.6: Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen nach den Sandstrahlzyklen für die Strecke 67a

	Griffigkeit BK 67a-2	Griffigkeit BK 67a-4
1. Durchgang	0,594	0,586
2. Durchgang	0,600	0,597
3. Durchgang	0,593	0,596
4. Durchgang	0,592	0,596
5. Durchgang	0,588	0,596
Differenz 3. und 5. Durchgang (<0,015)	-0,005	0,000
Standardabweichung 3. bis 5. Durchgang (<0,015)	0,003	0,000

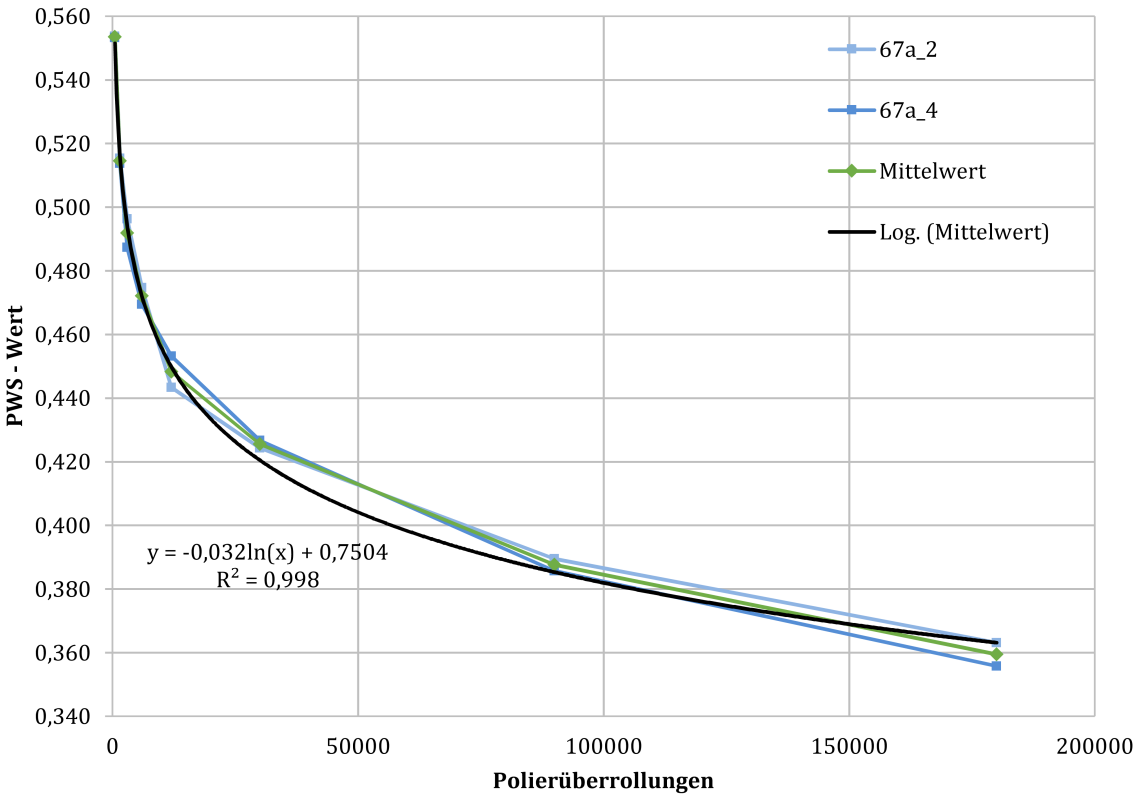


Abb. 5.5: Griffigkeitsentwicklung durch Polierüberrollungen der Bohrkerne aus Messstrecke 67a

Die Abschnittslänge beträgt 250 Meter und liegt zwischen dem Kilometer 104,0 und 104,25. Aufgrund desselben Zeitpunktes der Herstellung wie die Strecke 67, hat dieser Bereich auch

dieselbe Verkehrsbelastung. Die Grenzen für die Differenz zwischen den letzten und vorvorletzten Griffigkeiten wurden nicht überschritten. Auch die Standardabweichung der letzten drei Messungen liegt innerhalb der definierten Grenzen, somit wurde die Maximalgriffigkeit bereits nach fünf Durchgängen erreicht (siehe Tabelle 5.6).
Die Entwicklung des Griffigkeitsniveaus verhält sich erwartungsgemäß ähnlich zu jener der Strecke 67. Nicht nur die Regressionsfunktionsgleichung sind nahezu ident, sondern auch das Bestimmtheitsmaß erreicht einen besonders hohen Wert.

5.6 Strecke 108

Die Strecke 108 befindet sich wie die Strecken 51, 109 und 110 auf der Wiener Außenring Autobahn A21. Die Länge dieses kurzen Abschnittes beträgt 20 Meter und erstreckt sich von Kilometer 20,38 bis Kilometer 20,40. Die zum Entnahmezeitpunkt der Bohrkerne bereits 16 Jahre alte Deckschicht ist die Älteste, welche für die Ausarbeitung dieser Diplomarbeit geprüft wurde. Entsprechend dem Alter hat sie auch die höchste Verkehrsbelastung mit 95 Millionen Fahrzeugen aufzuweisen. Wie auch bei den Bohrkernen zuvor wurden die Kriterien für eine maximale Griffigkeit nach den erforderlichen fünf Durchgängen erfüllt (siehe Tabelle 5.7).

Tab. 5.7: Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen nach den Sandstrahlzyklen für die Strecke 108

	Griffigkeit BK 108-3	Griffigkeit BK 108-4
1. Durchgang	0,560	0,593
2. Durchgang	0,566	0,600
3. Durchgang	0,573	0,600
4. Durchgang	0,575	0,603
5. Durchgang	0,570	0,602
Differenz 3. und 5. Durchgang (<0,015)	-0,004	0,002
Standardabweichung 3. bis 5. Durchgang (<0,015)	0,003	0,002

Während der Prüfung des Bohrkernes 108-4 wurde eine verringerte Pumpleistung bei der Prüfstation festgestellt. Um jedoch die Prüfergebnisse nicht zu verfälschen, wurde die Pumpleistung bis zum Prüfende der beiden Bohrkerne nicht verändert. In Abbildung 5.6 sieht man die entsprechende Griffigkeitsentwicklung und die logarithmische Regressionslinie zufolge des Mittelwertes.
Um die Auswirkungen der verringerten Pumpleistung feststellen zu können, wurde direkt im Anschluss der Bohrkern 108-4 erneut geprüft. Diesmal wurde jedoch die Pumpleistung sukzessive nach jeder Messung erhöht, um die erforderliche Pumpleistung wieder zu erreichen. Dafür wurde der Bohrkern erneut regeneriert. In Tabelle 5.8 sind die Ergebnisse aufgelistet.
Vergleicht man die Werte der ersten Regeneration (siehe Tabelle 5.7) mit denen der zweiten Regeneration (siehe Tabelle 5.8), so sieht man, dass nahezu die idente Maximalgriffigkeit erreicht wird. Diese Tatsache spricht für die mögliche Wiederholbarkeit der Versuche an einem Bohrkern.
In weiterer Folge wurde wieder eine Verkehrsbelastung mittels Überrollungen simuliert und die Entwicklung des Griffigkeitsniveaus diesmal bei steigender Pumpleistung bei der Prüfstation

aufgezeichnet. Im Abbildung 5.7 sind die Griffigkeitsentwicklungen der beiden ersten Versuche und des zweiten Versuches abgebildet.

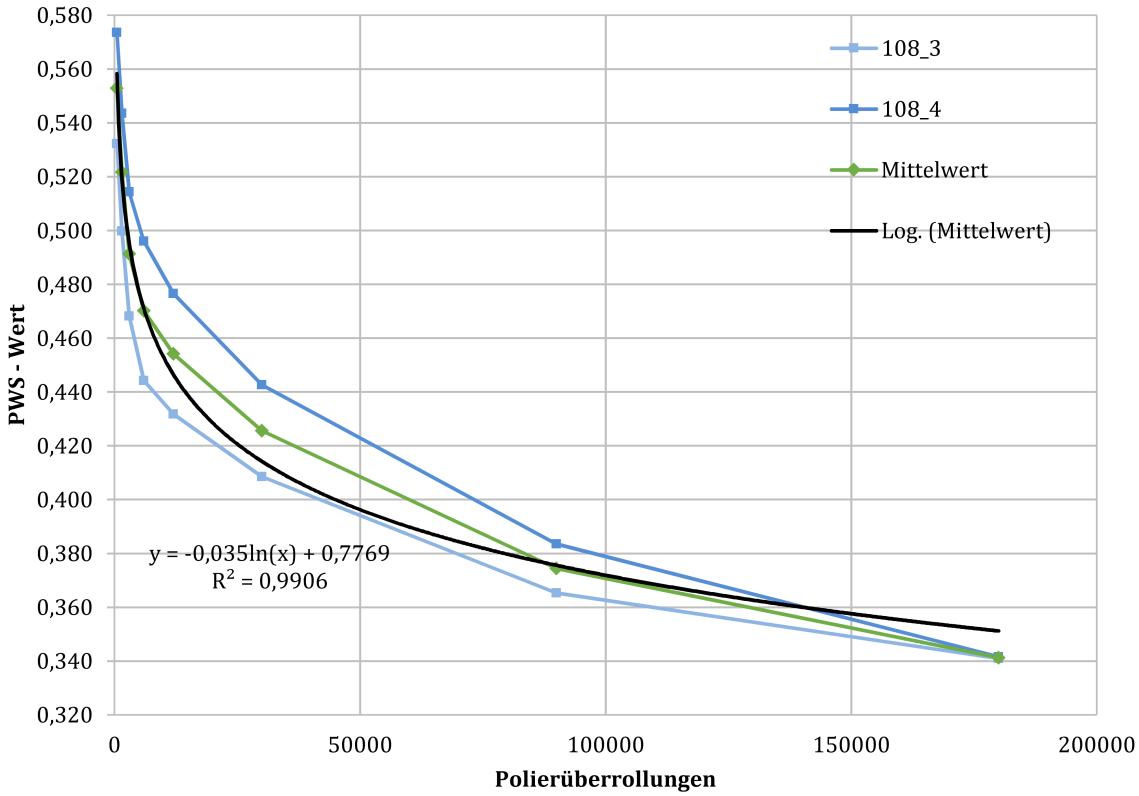


Abb. 5.6: Griffigkeitsentwicklung durch Polierüberrollungen der Bohrkerne aus Messstrecke 108

Tab. 5.8: Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen nach den Sandstrahlzyklen den zweiten Zyklus des Bohrkernes 108-4

	Griffigkeit BK 108-4 (2.Versuch)
1. Durchgang	0,581
2. Durchgang	0,596
3. Durchgang	0,598
4. Durchgang	0,593
5. Durchgang	0,599
Differenz 3. und 5. Durchgang (<0,015)	-0,001
Standardabweichung 3. bis 5. Durchgang (<0,015)	0,000

Wie in Abbildung 5.7 ersichtlich, verhält sich die Griffigkeitsentwicklung des Bohrkernes 108-4 im zweiten Versuch ähnlich zu den beiden vorherigen Versuchen. Die Werte entsprechen zirka

denen des Mittelwertes aus den beiden ersten Versuchen. Auch die Funktion der logarithmischen Regression des Mittelwertes aller drei Versuche ändert sich nur unwesentlich.

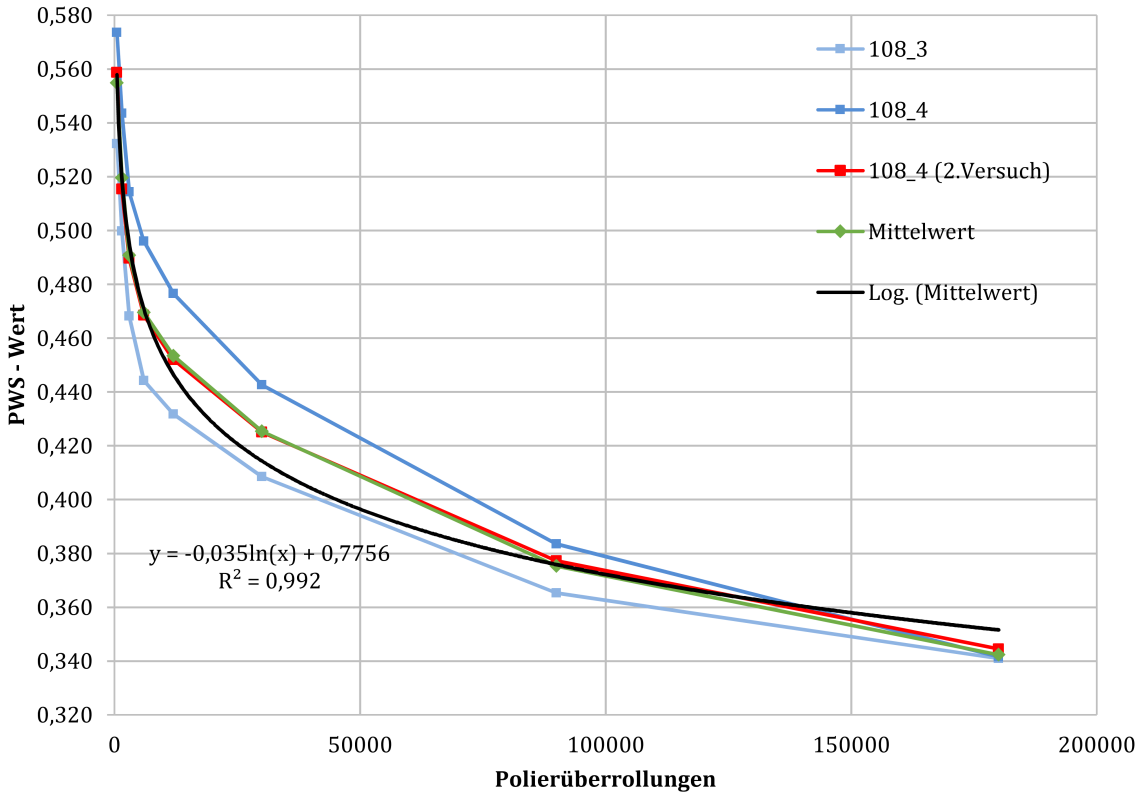


Abb. 5.7: Griffigkeitsentwicklung durch Polierüberrollungen der Bohrkerne aus Messstrecke 108 inklusive des zweiten Messdurchganges des Bohrkernes 108-4

Jedoch wurde auch die Entwicklung der gemessenen Ergebnisse auf der Kalibrierplatte miteinander verglichen. Die Kalibrierungen auf einer Glasplatte werden gemacht, um etwaige Fehler an der Prüfstation (z.B. defekte Drehmomentmessvorrichtung oder Prüfgummisätze) zu erkennen. Wie in Tabelle 5.9 ersichtlich, verhalten sich die Messergebnisse auf der Glasplatte nahezu ident, auch wenn die Pumpleistung im zweiten Versuch sukzessive gesteigert wurde. Der erste Kalibrierwert hat meist ein Minimum, da der Prüfgummi durch den vorangegangenen Versuchsdurchlauf eines Bohrkernes geglättet wurde. Nach der ersten Prüfung auf einer rauen sandgestrahlten Oberfläche wird der Prüfgummi wieder aufgeraut, weshalb der zweite Kalibrierwert wesentlich höher ist als der Erste. Der Kalibrierwert nimmt erst wieder ab, nachdem der Gummi durch die glatt polierten Oberflächen der Bohrkerne wieder geglättet wird und gegen Ende der Simulation wieder nahezu ein Minimum erreicht.
Aufgrund der beiden Nachuntersuchungen am Bohrkern 108-4 wird davon ausgegangen, dass die verringerte Pumpleistung keinen erkennbaren Einfluss auf die Prüfergebnisse hat. Alle im Anschluss an diesen Versuch durchgeführten Versuche wurden wieder mit korrekter Pumpleistung durchgeführt.

Tab. 5.9: Vergleich der gemessenen Griffigkeiten auf der Kalibrierplatte bei verringerter zu sukzessive gesteigerte Pumpleistung

Messergebnisse während der Regeneration			
	108-4	108-4 (2.Versuch)	Differenz
KAL 1.	0,101	0,102	0,0004
KAL 2.	0,109	0,109	-0,0005
KAL 3.	0,110	0,109	-0,0009
KAL 4.	0,109	0,109	-0,0002
KAL 5.	0,109	0,109	0,0003

Messergebnisse zwischen den Prüfungen			
KAL 1.	0,109	0,109	0,0004
KAL 2.	0,107	0,106	-0,0009
KAL 3.	0,104	0,104	0,0001
KAL 4.	0,103	0,104	0,0005

5.7 Strecke 109

Die rund 30 Meter lange Messstecke 109 befindet sich auf der Wiener Außenring Autobahn zwischen Kilometer 16,50 und 16,53 (siehe Abbildung 5.1). Die Entnahmestelle befindet sich in der Nähe der Abfahrt Mayerling. Der Fahrbahnbelag in diesem Abschnitt stammt aus 2007. Seit Herstellung bis zum Jahr 2013 haben ungefähr 44 Millionen Fahrzeuge diesen Bereich passiert. In Tabelle 5.10 sind die Messergebnisse der Regeneration zusammengefasst. Hierbei ist festzuhalten, dass nicht alle Kriterien für die Maximalgriffigkeit nach den erforderlichen fünf Durchgängen erfüllt waren, weshalb ein sechster Durchgang durchgeführt wurde. Danach wurden jedoch alle Grenzwerte eingehalten.

Tab. 5.10: Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen nach den Sandstrahlzyklen für die Strecke 109

	Griffigkeit BK 109-3	Griffigkeit BK 109-4
1. Durchgang	-	0,661
2. Durchgang	0,668	0,656
3. Durchgang	0,663	0,670
4. Durchgang	0,652	0,654
5. Durchgang	0,654	0,653
6. Durchgang	0,640	0,646
Differenz 4. und 6. Durchgang (<0,015)	-0,012	-0,008
Standardabweichung 4. bis 6. Durchgang (<0,015)	0,007	0,004

In Abbildung 5.8 ist die Griffigkeitsentwicklung der beiden Bohrkerne dargestellt. Trotz der nahezu gleichen Werte der Messergebnisse, weist die logarithmische Regressionskurve des Mittelwertes nicht so ein hohes Bestimmtheitsmaß auf wie die Proben zuvor.

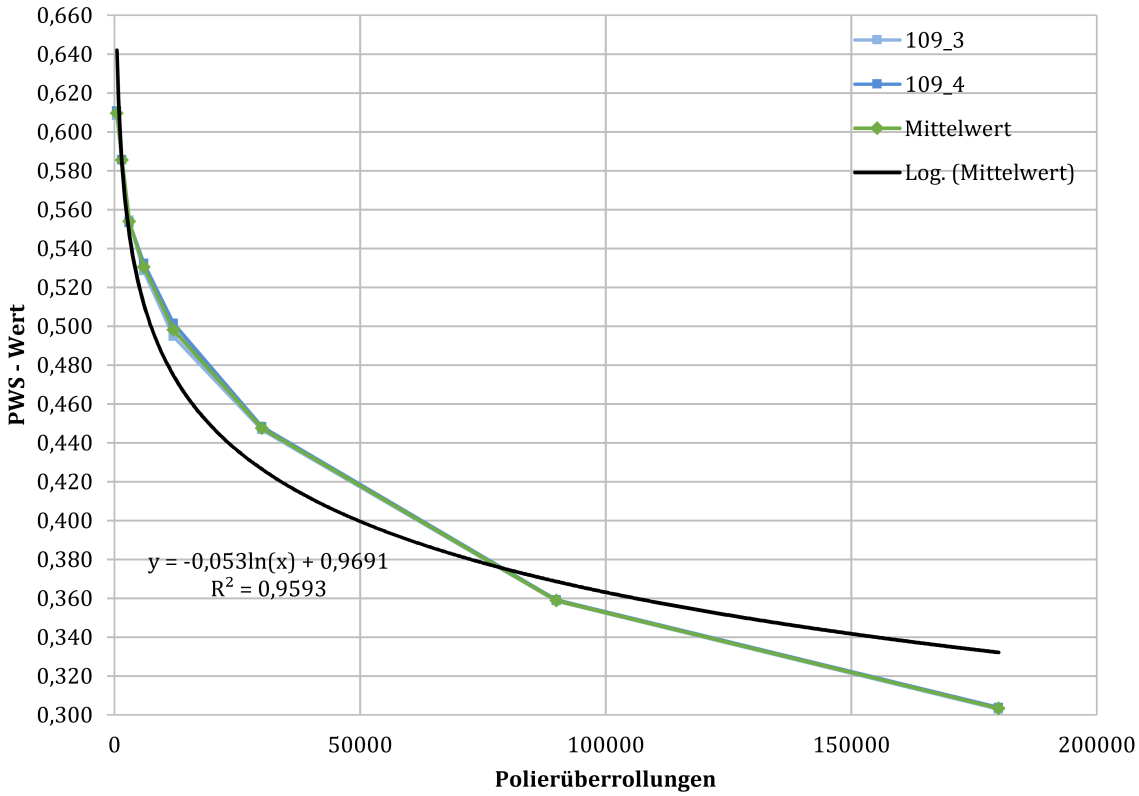


Abb. 5.8: Griffigkeitsentwicklung durch Polierüberrollungen der Bohrkerne aus Messstrecke 109

5.8 Strecke 110

Die Messstrecke 110 liegt ebenfalls auf der Wiener Außenring Autobahn A21. Sie befindet sich im Bereich zwischen Kilometer 14,02 und Kilometer 14,04 in der Nähe der Ausfahrt Alland, nur wenige Kilometer von den Messstrecken 52 und 109 entfernt. Die Fahrbahndecke stammt aus dem Jahr 2007, so wie jene der Strecke 109. Die für den beobachteten Zeitraum errechnete Verkehrsbelastung beträgt 44 Millionen Fahrzeuge für die letzten sieben Jahre. In Tabelle 5.11 sind die Griffigkeiten aus der Regeneration ersichtlich. Beide Kriterien für die höchste Griffigkeit wurden nach dem fünften Durchgang eingehalten.

Tab. 5.11: Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen nach den Sandstrahlzyklen für die Strecke 110

	Griffigkeit BK 110-1	Griffigkeit BK 110-2
1. Durchgang	0,613	0,629
2. Durchgang	0,639	0,634
3. Durchgang	0,633	0,635
4. Durchgang	0,634	0,640
5. Durchgang	0,633	0,638
Differenz 3. und 5. Durchgang (<0,015)	0,001	0,003
Standardabweichung 3. bis 5. Durchgang (<0,015)	0,001	0,003

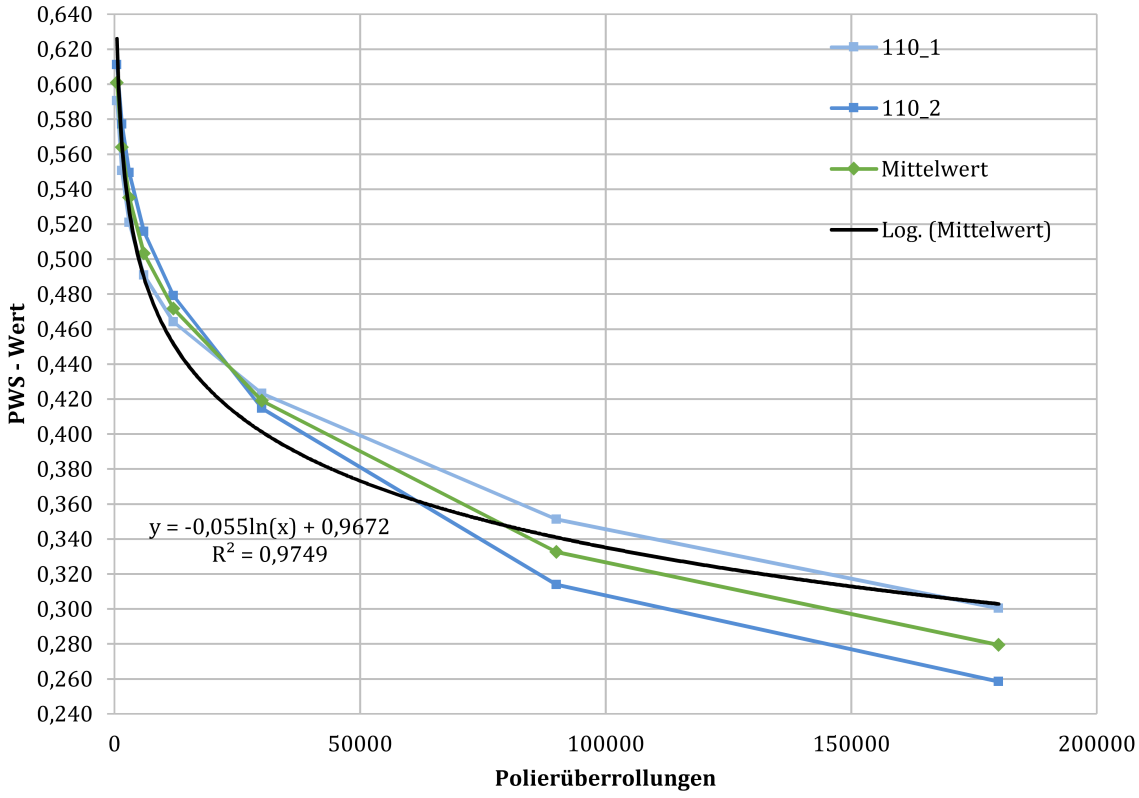


Abb. 5.9: Griffigkeitsentwicklung durch Polierüberrollungen der Bohrkerne aus Messstrecke 110

In Abbildung 5.9 sind die Messergebnisse der Griffigkeitsprüfungen festgehalten. Auffallend sind hier vor allem große Abweichungen der Endgriffigkeiten der Griffigkeitsverläufe von den beiden Bohrkernen.

5.9 Zusammenfassung der Prüfergebnisse

Für die spätere Erstellung eines Prognosemodelles für die Entwicklung der Griffigkeiten sind hauptsächlich die logarithmischen Regressionslinien interessant, da mit ihrer Hilfe eine Korrelation zwischen tatsächlichen Überrollungen durch Fahrzeuge und den Überrollungen der Prüfanlage nach Wehner/Schulze hergestellt wird. Aus diesem Grund sind in Tabelle 5.12 alle Funktionsgleichungen für die jeweiligen Strecken zusammengefasst.

Tab. 5.12: Zusammenfassung der Regressionskurven zufolge der Messdaten

Strecke	Anzahl Prüfungen	Funktionsgleichung Regression	Bestimmtheitsmaß R^2
42	2	$y = -0,030 \cdot ln(x) + 0,7446$	0,991
51	3	$y = -0,026 \cdot ln(x) + 0,6868$	0,991
67	2	$y = -0,030 \cdot ln(x) + 0,7464$	0,9895
67a	2	$y = -0,032 \cdot ln(x) + 0,7504$	0,998
108	3	$y = -0,035 \cdot ln(x) + 0,7769$	0,9906
109	2	$y = -0,053 \cdot ln(x) + 0,9691$	0,9593
110	2	$y = -0,055 \cdot ln(x) + 0,9672$	0,9749

Kapitel 6

Anwendbarkeit des Prognoseverfahrens aus PROGRIP auf die geprüften Bohrkerne

In diesem Kapitel werden die zuvor geprüften Ergebnisse der Bohrkerne mit dem Prognoseverfahren nach PROGRIP überprüft. Dies ermöglicht eine Aussage über die Anwendbarkeit des Verfahrens, welches auf unbefahrenen regenerierten Bohrkernen basiert, auf die befahrenen regenerierten Bohrkerne. Des Weiteren kann auch die Genauigkeit sowie die Prognosewahrscheinlichkeit untersucht werden.
Das Endergebnis aus PROGRIP war ein Diagramm, mit dessen Hilfe die Griffigkeiten zufolge der Verkehrsbelastung prognostiziert werden kann und dadurch die Verkehrssicherheit besser gewährleistet werden kann. Je genauer die Verkehrsbelastung vorhergesagt werden kann oder sogar bekannt ist, desto genauer lässt sich auch eine zeitliche Entwicklung der Griffigkeit prognostizieren.

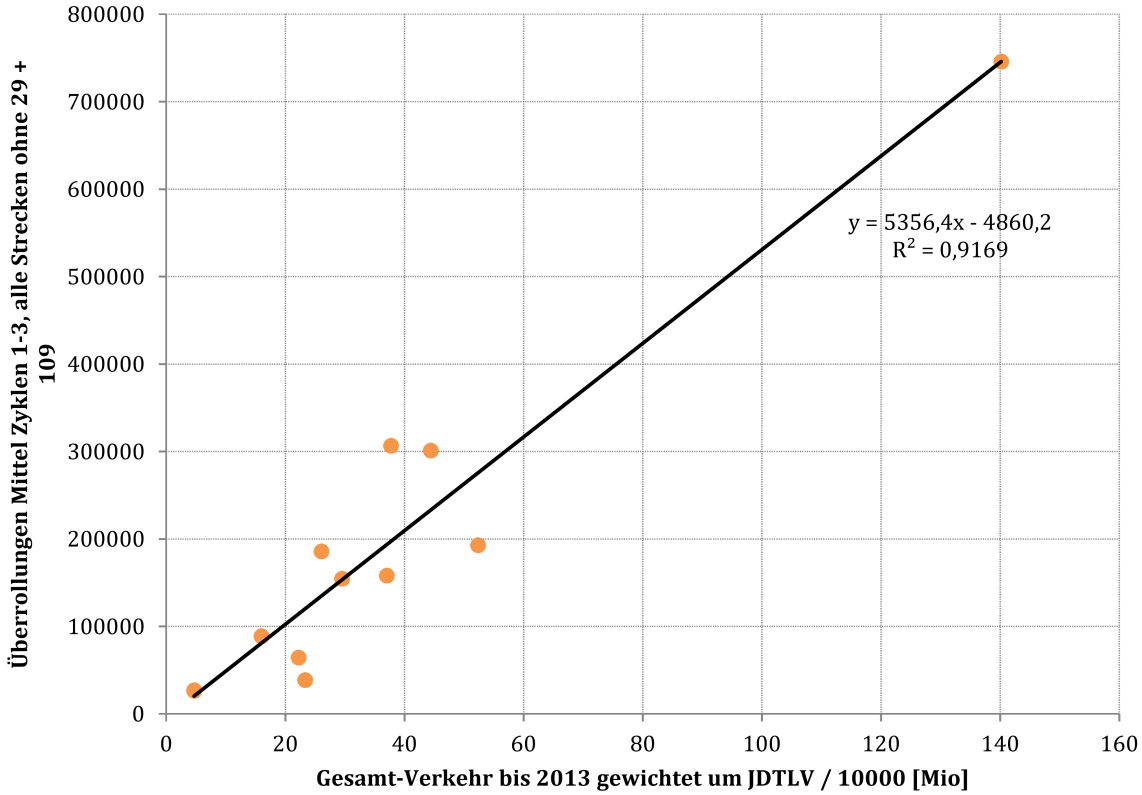


Abb. 6.1: Ergebnis für die Griffigkeitsprognose gemäß PROGRIP (vgl. [8], Seite 97)

In Abbildung 6.1 ist das Diagramm aus PROGRIP dargestellt. Zu sehen sind orange Datenpunkte, welche die Korrelation zwischen den Überrollungen in der Prüfanlage nach Wehner/Schulze und den tatsächlichen Überrollungen durch Kraftfahrzeuge darstellen. Die schwarze Linie stellt die lineare Regressionslinie zufolge der Datenpunkte dar.
Um die Datenpunkte zu erhalten, wurden zuerst in PROGRIP bei den unbefahrenen Bohrkernen die Reibwerte mit der Prüfanlage nach Wehner/Schulze ermittelt. Im Anschluss wurden die Bohrkerne mehreren Prognosezyklen nacheinander unterzogen, wobei sich die Prognosezyklen nur durch Anzahl der Strahldurchgänge bei der Regeneration zur Schaffung des künstlichen Startniveaus unterschieden. Beim ersten Zyklus wurde nur einmal sandgestrahlt, beim zweiten Zyklus wurde drei Mal sandgestrahlt und im letzten Zyklus wurde mindestens fünf Mal sandgestrahlt, jedoch solange bis die die Kriterien aus Kapitel 4.4 zur Erfüllung der Maximalgriffigkeit erfüllt wurden. Der Poliervorgang und die Griffigkeitsprüfungen erfolgten dann gemäß der Tabelle 4.4 wie auch bei PROGRIP 2.
Die Entwicklung der Reibbeiwerte wurde dann für jeden Bohrkern sowie jeden Zyklus einzeln durch eine logarithmische Regressionskurve angeglichen, mit deren Hilfe die erforderlichen Überrollungen bis zum Erreichen der ursprünglichen Griffigkeit errechnet werden konnten. Aus den errechneten Werten für jede Messstrecke wurde dann für jeden Zyklus ein Mittelwert gebildet, aus dem in weiterer Folge weitere Mittelwerte zufolge der einzelnen Zyklen gebildet wurden. In Abbildung 6.2 ist dieser Ablauf exemplarisch für eine beliebige Strecke graphisch dargestellt.

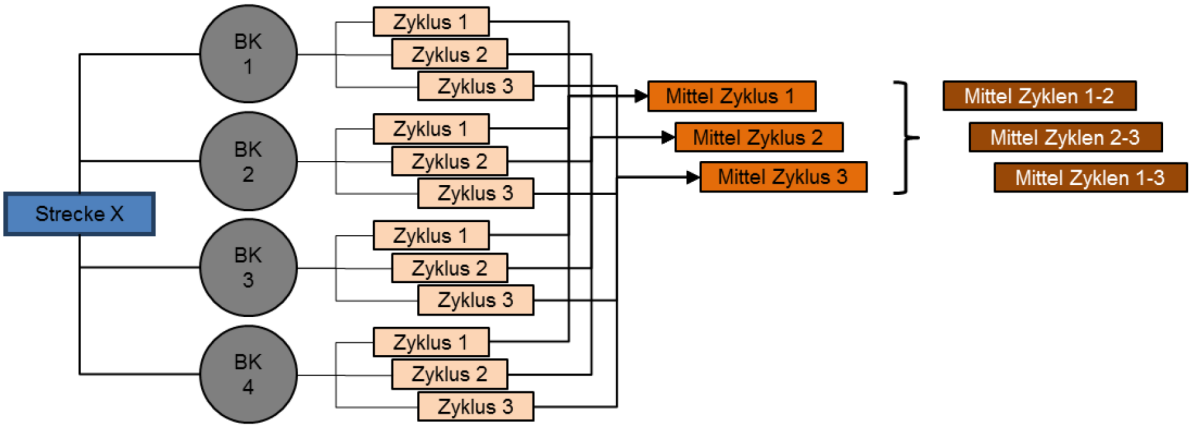


Abb. 6.2: Fließschema der Prognosezyklen gemäß PROGRIP ([8], Seite 83)

Die durch dieses Verfahren ermittelten Mittelwerte für die erforderlichen Überrollungen eines jeden Prognosezyklus bis zum Erreichen des gemittelten ursprünglichen Griffigkeitsniveaus der befahrenen Bohrkerne für den jeweiligen Streckenabschnitt sind in Tabelle 6.1 ersichtlich.
Zufolge der ermittelten Überrollungen und den Verkehrsdaten aus Tabelle 5.2 aus Kapitel 5.1 konnte dann das Diagramm in Abbildung 6.1 erstellt werden.
Diese Vorgehensweise wird auch für die Überprüfung der Anwendbarkeit des Prognoseverfahrens benützt. Dafür werden zuerst zufolge der linearen Regressionslinien der einzelnen befahrenen Bohrkerne die erforderlichen Überrollungen bis zum Erreichen des ursprünglichen mittleren Reibungswertes der befahrenen Bohrkerne ermittelt, um sie im Anschluss in Korrelation zur Verkehrsbelastung stellen zu können. In Tabelle 6.2 sind die Funktionsgleichungen der Regressionskurven für jeden geprüften Bohrkern zusammengefasst.

Tab. 6.1: Erforderliche Überrollungen gemäß PROGRIP (vgl. [8], Seite 84)

Strecke	Mittlere Griffigkeit rechte Fahrspur $\mu_{RoadSTAR}$	Mittel Zyklus 1	Mittel Zyklus 2	Mittel Zyklus 3	Mittel Zyklen 1-3	Mittel Zyklen 1-2	Mittel Zyklen 2-3
2	0,319	147780	167030	159333	158048	157405	163182
7	0,333	263006	165711	149962	192893	214358	157836
29	0,393	46322	31612	27863	35266	38967	29738
42	0,38	56132	33781	25761	38558	44957	29771
52	0,383	60662	44259	87985	64302	52461	66122
63	0,258	592842	764414	880320	745858	678628	822367
65	0,337	318454	312374	288430	306420	315414	300402
67	0,42	10029	35128	36000	27052	22578	35564
67a	0,426	42869	26406	10016	26430	34637	18211
68	0,352	372421	298988	231335	300914	335704	265161
77	0,371	260342	161047	135639	185676	210695	148343
108	0,364	192637	143307	127674	154539	167972	135491
109	0,397	35706	79230	203376	106104	57468	141303
110	0,379	61944	101070	103264	88759	81507	102167

Zusätzlich wurde die ursprüngliche Griffigkeit der rechten Fahrspur angegeben, aus der dann die erforderlichen Überrollungen errechnet wurden. Zudem ist der Mittelwert der Überrollungen für jede Strecke angegeben.

Tab. 6.2: Erforderliche Überrollungen auf geprüften Bohrkernen

Strecke	Mittlere Griffigkeit rechte Fahrspur $\mu_{RoadSTAR}$	Funktions gleichung Regression	Über-rollungen einzeln	Mittel Über-rollungen
42_3	0,379	$y = -0,029 \cdot ln(x) + 0,7353$	216687	197701
42_4	0,379	$y = -0,031 \cdot ln(x) + 0,7539$	178715	
51_2	0,382	$y = -0,028 \cdot ln(x) + 0,7089$	117595	
51_3	0,39	$y = -0,025 \cdot ln(x) + 0,6763$	94089	108563
51_4	0,384	$y = -0,025 \cdot ln(x) + 0,6751$	114005	
67_2	0,42	$y = -0,031 \cdot ln(x) + 0,7511$	43506	54611
67_4	0,42	$y = -0,029 \cdot ln(x) + 0,7417$	65716	
67a_2	0,429	$y = -0,032 \cdot ln(x) + 0,7501$	22797	25408
67a_4	0,423	$y = -0,032 \cdot ln(x) + 0,7507$	28019	
108_3	0,363	$y = -0,032 \cdot ln(x) + 0,7284$	91012	102925
108_4	0,371	$y = -0,039 \cdot ln(x) + 0,8254$	114838	
109_3	0,391	$y = -0,053 \cdot ln(x) + 0,9680$	53466	48953
109_4	0,403	$y = -0,053 \cdot ln(x) + 0,9702$	44440	
110_1	0,379	$y = -0,048 \cdot ln(x) + 0,9067$	59501	50899
110_2	0,378	$y = -0,061 \cdot ln(x) + 1,0278$	42296	

Zufolge den ermittelten gemittelten Überrollungen aus Tabelle 6.2 und den dazugehörigen Verkehrsdaten aus Tabelle 5.2 in Abschnitt 5.1 für die jeweilige Strecke können diese Datenpunkte im

Prognosediagramm aus PROGRIP hinzugefügt werden, um die Gültigkeit des Prognoseverfahrens zu überprüfen.

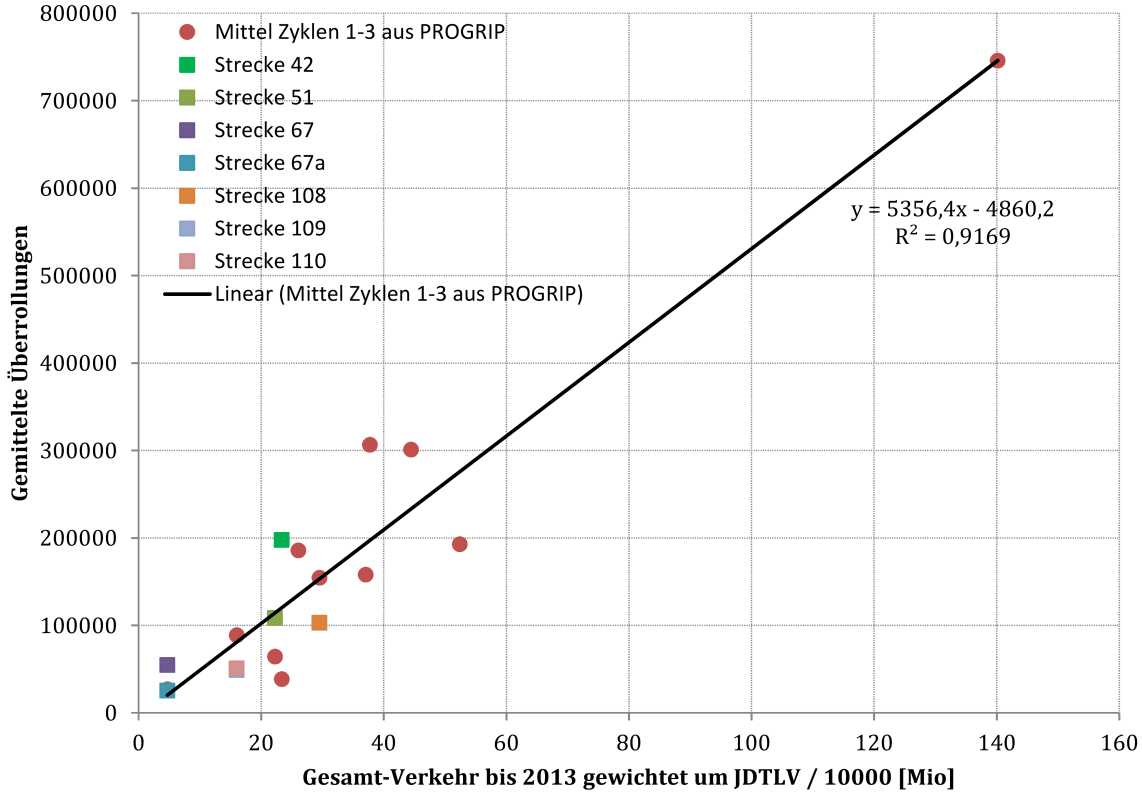


Abb. 6.3: Griffigkeitsprognose gemäß PROGRIP mit neuen Datenpunkten

Wie in Abbildung 6.3 ersichtlich, fügen sich die ermittelten Daten sehr gut in die bestehende Punktwolke ein. Um jedoch genauere Aussagen über die Anwendbarkeit der Griffigkeitsprognose treffen zu können, ist in Abbildung 6.4 der Ausschnitt vergrößert dargestellt, in denen sich alle Datenpunkte der befahrenen Bohrkerne aus Splittmastixasphalt befinden, welche im Zuge der Diplomarbeit geprüft wurden. Dabei sind die quadratischen Datenpunkte die gemittelten erforderlichen Überrollungen aus den Regressionskurven eines jeden Bohrkernes, welcher zu einer Strecke gehört. Die kreuzförmigen Punkte sind die Detailergebnisse einer jeden Strecke, entsprechen demnach den erforderlichen Überrollungen errechnet aus der Regressionskurve von jedem Bohrkern.
Um einen Vergleich zu den Datenpunkten aus PROGRIP ziehen zu können, wurden die damals berechneten gemittelten Überrollungen für das Erreichen der ursprünglichen Griffigkeit für Splittmastixasphalt-Bohrkerne in Form von rautenförmigen Punkte dargestellt. Zuletzt wurden noch die Datenpunkte der in diesem Bereich befindlichen Ergebnisse der Bohrkerne aus Waschbeton als schwarze Dreiecke eingezeichnet.
Vergleicht man die Datenpunkte für die gemittelten Überrollungen der befahrenen Bohrkerne mit den Unbefahrenen, so lässt sich feststellen, dass bis auf Strecke 42 alle Punkte in unmittelbarer Nähe zueinander sind. In Tabelle 6.3 werden diese Abweichungen nochmals in Form von Zahlenwerten beschrieben. Hier ist klar zu erkennen, dass die Ergebnisse der Strecke 42 um das Fünffache von jenem Wert aus PROGRIP abweicht.

Tab. 6.3: Vergleich der erforderlichen Überrollungen aus PROGRIP und zufolge der Laborprüfungen

Bohrkern	Mittelwert Überrollungen bis Anfangsgriffigkeit μ_{PWS} [-]	Überrollungen bis Anfangsgriffigkeit μ_{PWS} PROGRIP [-]	Differenz [%]
42 / 42u	197701	38558	512,7
51 / 51u	108563	64302	168,8
67 / 67u	54611	27052	201,9
67a / 67a_u	25408	26430	96,1
108 / 108u	102925	154539	66,6
109/ 109u	48953	106104	46,1
110 / 110u	50899	88759	57,3

Um jedoch eine Aussage über die Anwendbarkeit des Prognosemodells aus PROGRIP treffen zu können, müssen die Wahrscheinlichkeiten betrachtet werden, mit der die Ergebnisse übereinstimmen. Dafür wurden zusätzlich die oberen Prognoseintervalle in Abbildung 6.4 dargestellt, da diese relevant für die abzuleitenden erforderlichen Überrollungen sind.
Einzig Strecke 42 liegt außerhalb der 80 prozentigen Wahrscheinlichkeit. Das bedeutet, dass durch das 80 prozentige Prognoseintervall die Anzahl an erforderlichen Überrollungen niedriger wäre, als die tatsächlich benötigten Überrollungen zur Erreichung der ursprünglichen Griffigkeit zufolge der Verkehrsbelastung. Dadurch wird die Griffigkeit höher vorhergesagt, als sie dann mit dem RoadSTAR gemessen werden würde. Erst mit dem 90 prozentigem Prognoseintervall wird eine geringere Griffigkeit prognostiziert, als sie dann mit dem RoadSTAR gemessen werden würde, jedoch wären dann die Griffigkeitswerte der anderen Strecken ungenauer prognostiziert. Somit können abhängig von der gewünschten Vorhersagewahrscheinlichkeit mit Hilfe der zu erwartenden Verkehrsbelastung die notwendigen Überrollungen mit der Prüfanlage nach Wehner/Schulze abgeleitet werden. Dies ermöglicht in weiterer Folge gemittelte Griffigkeitswerte an Bohrkernen oder im Labor hergestellten Prüfkörpern nach dem Verfahren aus PROGRIP beziehungsweise PROGRIP 2 zu ermitteln. Die ermittelten Griffigkeitswerte können dann in Straßengriffigkeiten, gemessen durch den RoadSTAR, transformiert werden und dienen der Vorhersage der zu erwartenden Griffigkeit mit den entsprechenden Wahrscheinlichkeiten. Um das Prognoseverfahren zu verdeutlichen, werden in Tabelle 6.4 die geprüften befahrenen Streckenabschnitte nach PROGRIP prognostiziert und mit den tatsächlichen Werten verglichen, um die Anwendbarkeit und Zuverlässigkeit zu überprüfen. Dazu werden anhand der zu erwarteten Verkehrsbelastung (Gesamtverkehr gewichtet um JDTLV/10000) die erforderlichen Überrollungen für eine 20 prozentige Irrtumswahrscheinlichkeit ($y = 1,56 \cdot x^2 + 5248 \cdot x + 52437$) gemäß PROGRIP errechnet. Zufolge dieser Überrollungen werden die Bohrkerne dann ihn der Prüfanlage poliert und der Reibbeiwert bei entsprechendem Überrollungswert nach PROGRIP ermittelt.

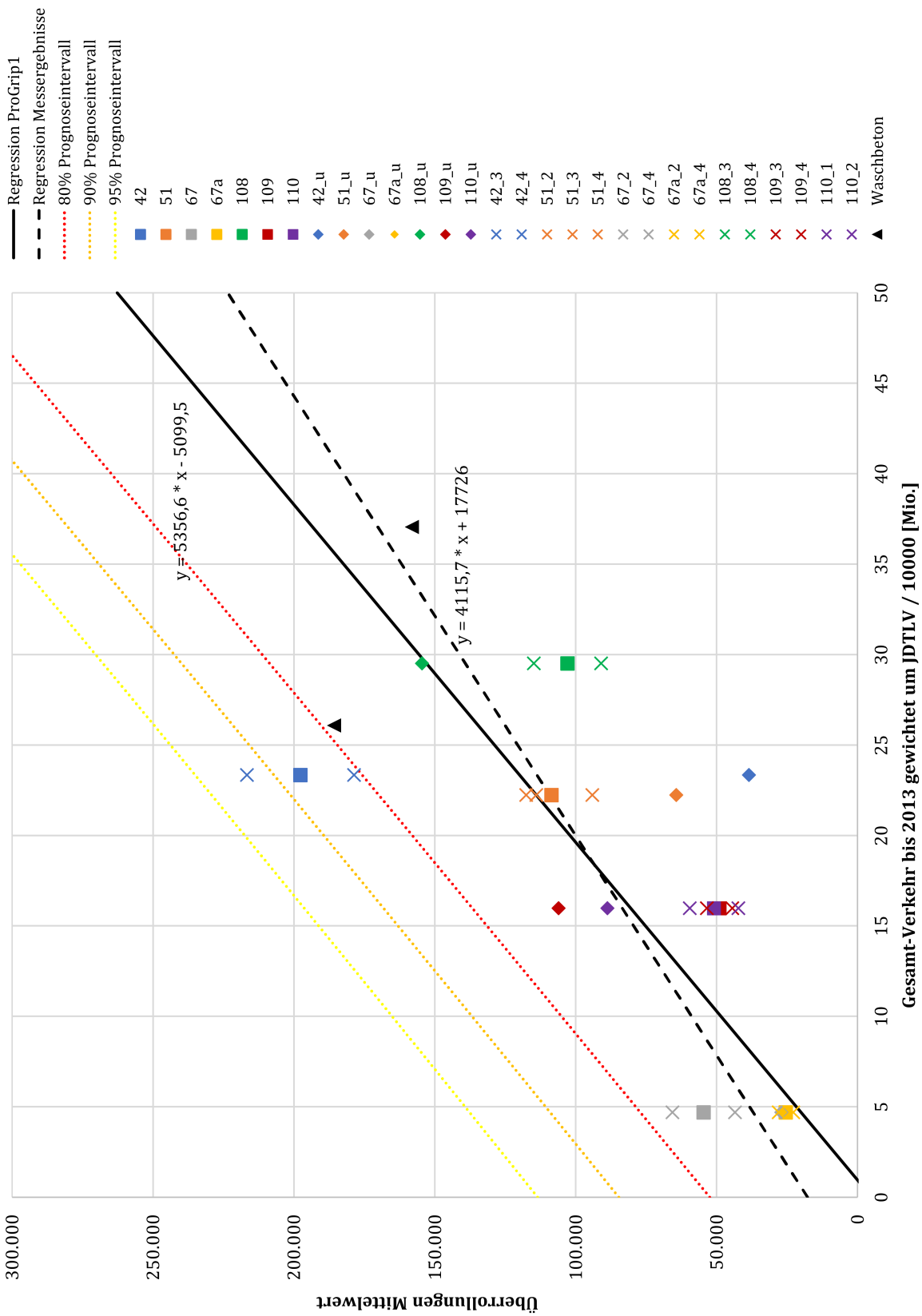


Abb. 6.4: Detailierter Ausschnitt der Griffigkeitsprognose gemäß PROGRIP mit den neuen Datenpunkten

Tab. 6.4: Überprüfung der Auswertung der getesteten Bohrkerne gemäß PROGRIP

Strecke	Gesamt-Verkehr bis 2013 gewichtet um JDTLV/10.000 [Mio]	Überrollungen gemäß 20% Irrtums-wahrscheinlichkeit	μ_{PWS} zufolge Überrollungen PROGRIP	μ_{PWS} zufolge tatsächlichem Verkehr
Strecke 42	23,3500	175828	0,382	0,379
Strecke 51	22,2300	169871	0,374	0,385
Strecke 67	4,6900	77084	0,409	0,420
Strecke 67a	4,6900	77084	0,390	0,426
Strecke 108	29,5200	208717	0,342	0,367
Strecke 109	15,9800	136698	0,342	0,397
Strecke 110	15,9800	136698	0,323	0,379

Dies entspricht den oben getroffenen Aussagen. Wird beispielsweise für die Strecke 51 gemäß PROGRIP die Griffigkeit mit einer 20 prozentigen Irrtumswahrscheinlichkeit prognostiziert, beträgt die Griffigkeit zufolge der simulierten Verkehrsbelastung in der Prüfanlage nach Wehner/Schulze 0,374. Durch die Messung mittels Prüfanlage nach Wehner/Schulze direkt nach der Bohrkernentnahme konnte ein Reibbeiwert von 0,385 festgestellt werden. Demnach ist die prognostizierte Griffigkeit um zirka drei Prozent niedriger als der tatsächliche Wert und liegt somit auf der sicheren Seite. Dies lässt sich auch bei den anderen Strecken feststellen mit Ausnahme von Strecke 42. Hier liegt die ermittelte Griffigkeit rund ein Prozent über dem tatsächlichen Wert und liegt somit auf der unsicheren Seite. In Tabelle 6.5 sind die Abweichungen zwischen prognostizierten Werten und tatsächlich gemessenen Reibungswerten aufgelistet.

Tab. 6.5: Vergleich der erforderlichen Überrollungen aus PROGRIP und zufolge der Laborprüfungen

Strecke	μ_{PWS} zufolge Überrollungen PROGRIP	μ_{PWS} zufolge tatsächlichem Verkehr	Differenz [%]
Strecke 42	0,382	0,379	-0,87
Strecke 51	0,374	0,385	3,03
Strecke 67	0,409	0,420	2,66
Strecke 67a	0,390	0,426	8,38
Strecke 108	0,342	0,367	6,79
Strecke 109	0,342	0,397	13,77
Strecke 110	0,323	0,379	14,73

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass mit Hilfe des Prognoseverfahrens nach PROGRIP eine zuverlässige Vorhersage für die Entwicklung der Griffigkeit getroffen werden kann, auch wenn das Prognoseverfahren mit Hilfe von Bohrkernen aus Asphalt und Waschbeton erstellt wurde und die Griffigkeitsentwicklung nur einer Strecke mit höherer Verkehrsbelastung in die Modellbildung eingeflossen ist. Auch die neu geprüften Bohrkerne bestätigen diese Aussage, da bis auf die Strecke 42 alle Strecken mit einer 20 prozentigen Irrtumswahrscheinlichkeit vorhergesagt werden konnten.
Zudem weicht die lineare Regressionslinie, die nur auf den Messergebnissen aus PROGRIP basiert, nur geringfügig von der erstellten Prognoselinie zufolge der in PROGRIP und in dieser Arbeit geprüften Strecken ab (siehe Abbildung 6.5).

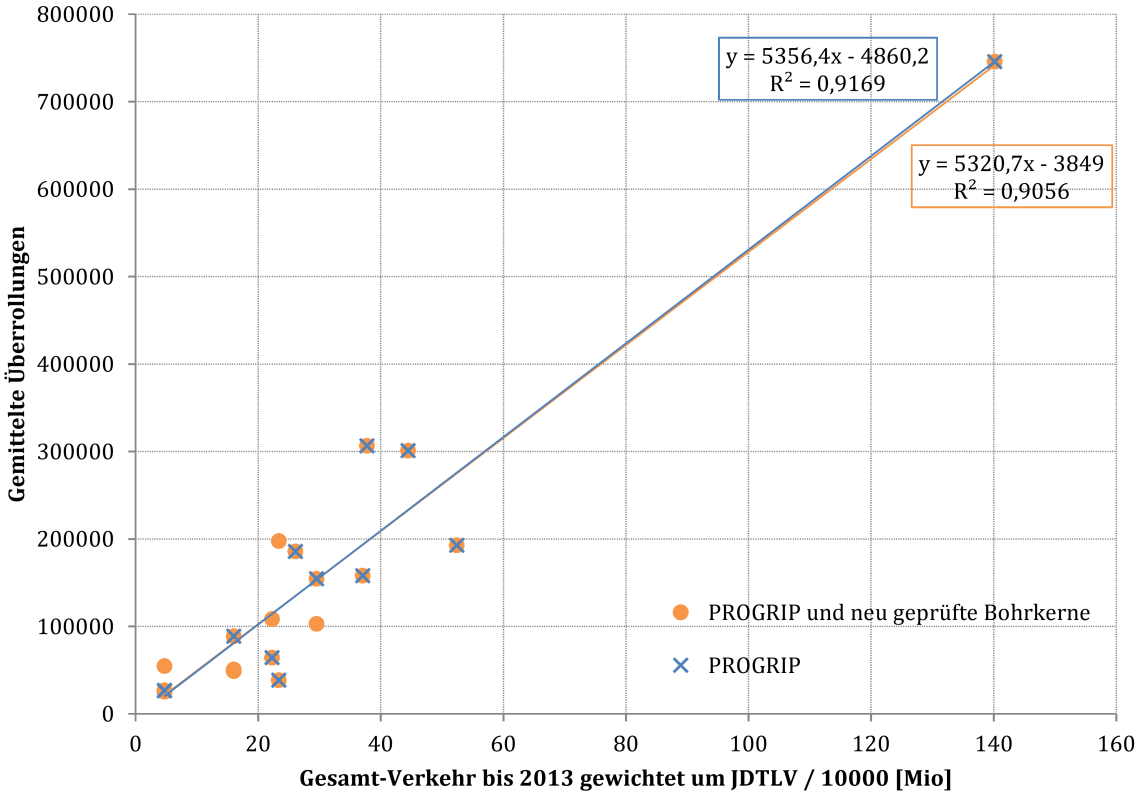


Abb. 6.5: Regressionskurven Zufolge PROGRIP und PROGRIP inklusive neuer Strecken

Kapitel 7

Erstellung eines neuen Prognoseverfahrens nur für Asphaltoberflächen

In Abschnitt 6 konnte die Anwendbarkeit des Prognoseverfahrens aus PROGRIP mittels der geprüften Bohrkerne bestätigt werden. Jedoch liegt bei einem Bohrkern die Irrtumswahrscheinlichkeit über 20 Prozent, weshalb die Fragestellung berechtigt ist, ob ein Prognoseverfahren nur für Asphaltoberflächen noch genauer wäre. Deshalb wird in diesem Abschnitt ein Prognoseverfahren erstellt, welches nur für Asphaltoberflächen gültig ist, und dieses im Anschluss mit dem bereits vorhandenen Prognoseverfahren aus PROGRIP vergleichen zu können.

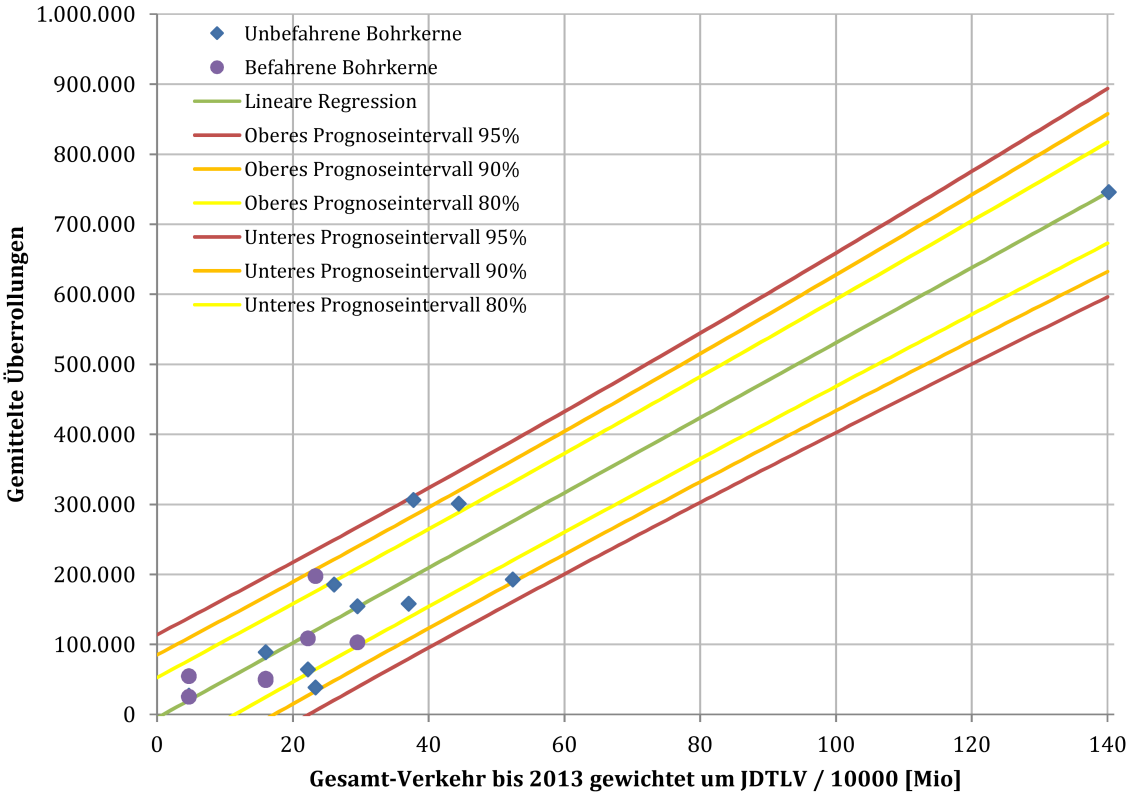


Abb. 7.1: Prognosewahrscheinlichkeiten gemäß PROGRIP

7.1 Regressionsanalyse an den Asphaltbohrkernen

Zufolge der Prüfergebnisse aus PROGRIP und denen im Zuge dieser Diplomarbeit geprüften Bohrkerne wird eine lineare Regressionslinie erstellt, mit deren Hilfe die Griffigkeit auf Asphalt-

straßen mit Splittmastixasphalt-Deckschichten besser prognostiziert werden kann.
Wenn wir Abbildung 7.1 betrachten, wo alle Ergebnisse der im Zuge dieser Diplomarbeit geprüften Bohrkerne sowie jenen aus PROGRIP eingezeichnet sind, sowie die Regressionskurve aus PROGRIP mit den dazugehörigen Prognosebereichen dargestellt sind, so können wir feststellen, dass ohne den Ausreißern aus den unbefahrenen Strecken 29 und 109 alle Datenpunkte innerhalb des 95 prozentigen Prognoseintervalls liegen. Dies bedeutet, dass die anhand dieses Prognoseintervalls prognostizierte Griffigkeit von Strecken mit nur einer Wahrscheinlichkeit von fünf Prozent zu hoch ausfällt.
Um jedoch ein exakteres Prognoseverfahren aufstellen zu können, müssen die Datenpunkte besser durch die Regressionskurve angenähert werden, was bedeuten würde dass die aufgespannte Fläche durch die 95 prozentigen Prognoseintervalle kleiner werden muss. Deshalb wird in diesem Abschnitt versucht, durch ausschließliche Betrachtung der Asphaltbohrkerne eine Kurve zu finden, welche eine noch höhere Prognosewahrscheinlichkeit ermöglicht.

7.2 Prognoseverfahren zufolge unbefahrener Asphaltbohrkerne

Betrachtet werden zunächst nur die Bohrkerne aus den unbefahrenen Asphaltstrecken. In Abbildung 7.2 sind die Prognoseergebnisse und die dazugehörigen Prognoseintervalle abgebildet. Auf Strecke 109 wurde wie auch in PROGRIP verzichtet, da die Griffigkeiten in den damaligen Versuchen mit jedem Zyklus deutlich gestiegen sind und somit auch die erforderlichen Überrollungen teilweise um den Faktor zehn größer wurden und somit keine klare Griffigkeitsentwicklung feststellbar war.

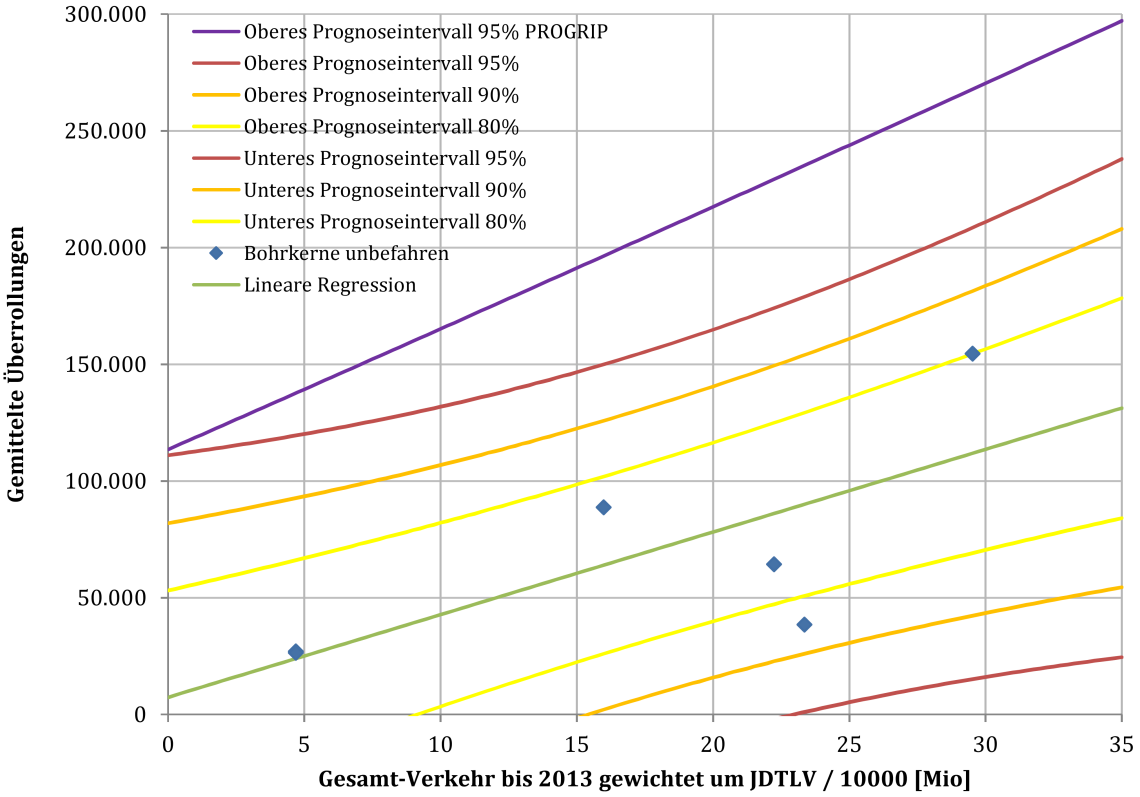


Abb. 7.2: Prognoselinien für unbefahrene Asphaltbohrkerne

In Abbildung 7.2 kann man erkennen, dass die obere 95 prozentige Prognoselinie für die unbefahrenen Bohrkerne eine kleinere Fläche aufspannt als die Prognoselinien zufolge PROGRIP. Das bedeutet, dass die prognostizierten Überrollungen und der daraus in Versuchen resultierende Reibungsbeiwert exakter vorhergesagt werden können.

7.3 Prognoseverfahren zufolge befahrener Asphaltbohrkerne

In Abbildung 7.4 sind die Prognoseintervalle für die befahrenen Asphaltbohrkerne sowie die 95 prozentige Prognoselinie aus PROGRIP dargestellt.
Dabei ist zu erkennen, dass die aufgespannte Fläche der 95 prozentigen Prognoselinien nur unwesentlich kleiner ist als jene aus PROGRIP. Grund dafür ist die Strecke 42, die durch eine besonders hohe Polierresistenz hervorsticht und somit die Prognosewahrscheinlichkeit verringert. Demnach ist auch die Griffigkeitsprognose nur unwesentlich genauer.

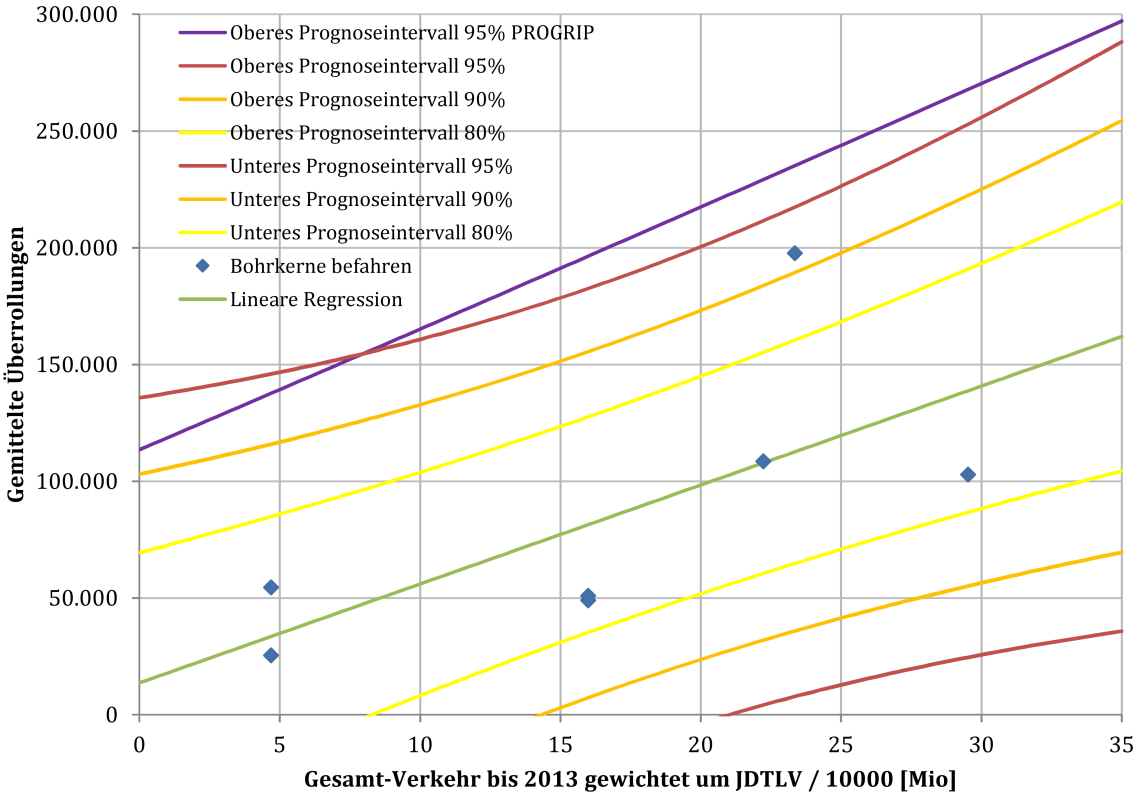


Abb. 7.3: Prognoselinien für befahrene Asphaltbohrkerne

Um dies zu verdeutlichen, wurden in Tabelle 7.1 die prognostizierten Reibungsbeiwerte der befahrenen Bohrkernen mit jenen der gemäß nach PROGRIP vorhergesagten und den tatsächlichen Griffigkeiten gegenübergestellt.
Daraus ist erkennbar, dass die Differenz der prognostizierten Griffigkeiten bei einer 5 prozentigen Irrtumswahrscheinlichkeit sehr gering ist und die Vorhersage an den befahrenen Bohrkernen dadurch nur unwesentlich exakter wird.

Tab. 7.1: Vergleich der Griffigkeiten zufolge der 95%-Prognoseintervalle mit den tatsächlichen Reibungsbeiwerten

Strecke	Verkehr	μ_{PWS} zufolge 95% Prognose-wahrscheinlichkeit befahrenen Bohrkerne	μ_{PWS} zufolge 95% Prognose-wahrscheinlichkeit PROGRIP	μ_{PWS} zufolge tatsächlichem Verkehr
Strecke 42	23,35	0,376	0,374	0,379
Strecke 51	22,23	0,368	0,366	0,385
Strecke 67	4,69	0,390	0,391	0,420
Strecke 67a	4,69	0,370	0,372	0,426
Strecke 108	29,52	0,335	0,333	0,367
Strecke 109	15,98	0,327	0,323	0,397
Strecke 110	15,98	0,307	0,303	0,379

7.4 Prognoseverfahren zufolge befahrener und unbefahrener Asphaltbohrkerne

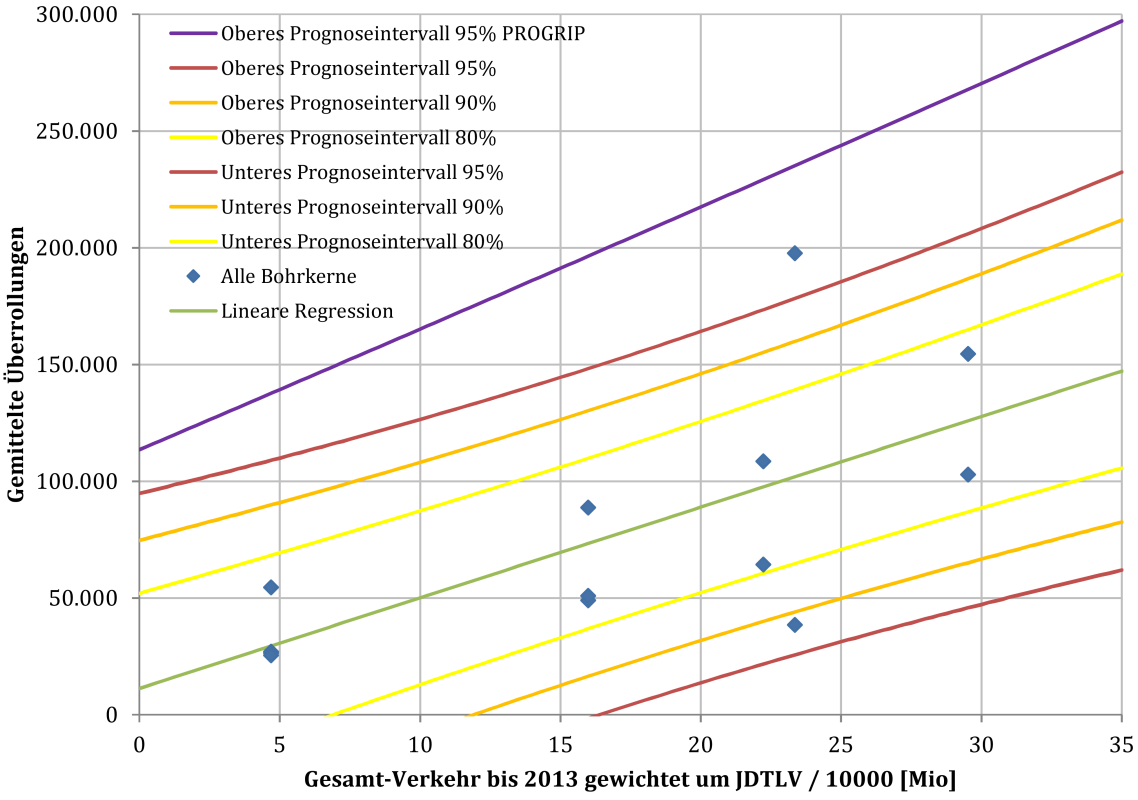


Abb. 7.4: Prognoselinien zufolge aller befahrenen und unbefahrenen Asphaltbohrkernen

In Abbildung 7.4 die Prognoselinien zufolge aller getesteten Asphaltstrecken dargestellt. Wie auch zuvor ist zusätzlich die Kurve für die 95 prozentige Prognosewahrscheinlichkeit aus PROGRIP eingezeichnet.
Durch Kombination der Ergebnisse der unbefahrenen und der befahrenen Bohrkerne kann die aufgespannte Prognosefläche deutlich verkleinert werden. Jedoch fällt dadurch die Strecke 42 nicht mehr in diesen Bereich, was bedeutet, dass die Griffigkeit höher prognostiziert wird als sie tatsächlich auf der Straße gemessen werden würde.
Demnach kann die Griffigkeit deutlich exakter vorhergesagt werden als durch PROGRIP. In Tabelle 7.2 wurden die ermittelten Griffigkeiten ausgehend von der 95 prozentige Prognoselinie aller Asphaltstrecken und der 95 prozentigen Prognoselinie aus PROGRIP, sowie die tatsächlich ermittelten Reibungsbeiwerte miteinander verglichen.

Tab. 7.2: Vergleich der Griffigkeiten zufolge der 95%-Prognoseintervalle mit den tatsächlichen Reibungsbeiwerten

Strecke	Verkehr	μ_{PWS} zufolge 95% Prognose-wahrscheinlichkeit aller Bohrkerne	μ_{PWS} zufolge 95% Prognose-wahrscheinlichkeit PROGRIP	μ_{PWS} zufolge tatsächlichem Verkehr
Strecke 42	23,35	0,382	0,374	0,379
Strecke 51	22,23	0,373	0,366	0,385
Strecke 67	4,69	0,398	0,391	0,420
Strecke 67a	4,69	0,379	0,372	0,426
Strecke 108	29,52	0,343	0,333	0,367
Strecke 109	15,98	0,338	0,323	0,397
Strecke 110	15,98	0,318	0,303	0,379

Gemäß Tabelle 7.2 lässt sich festhalten, dass die prognostizierten Griffigkeiten mittels Prognosekurve zufolge aller Asphaltstrecken mit 95 prozentiger Wahrscheinlichkeit zirka drei Prozent näher an den tatsächlichen Reibbeiwerten liegen, als mittels Prognoseverfahren aus PROGRIP. Jedoch liegt auch die Griffigkeit von Strecke 42 knapp einen Prozent über dem tatsächlichen Wert, was einer zu hohen Griffigkeitsprognose entspricht.
Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass ein Prognoseverfahren nur für Asphaltstrecken mit Splittmastixasphalt-Deckschichten eine höhere Genauigkeit mit sich bringen würde. Aufgrund der wenigen Teststrecken, welche allesamt relativ wenig Überrollungen aufweisen, empfiehlt es sich jedoch das Prognoseverfahren aus PROGRIP anzuwenden, da durch den höheren Probenumfang und die durch den Verkehr häufiger überrollten Strecken der Griffigkeitsverlauf zuverlässiger prognostiziert werden kann.
Zudem ist ein Genauigkeitszuwachs von drei Prozent vernachlässigbar gering, da die Griffigkeitsschwankungen bei den einzelnen Zyklen der Bohrkernprüfungen meist höher sind. Durch eine höhere Anzahl an Bohrkernen aus Splittmastixasphalt mit höheren Verkehrsbelastungen könnte das Prognoseverfahren für Asphaltstrecken jedoch verbessert werden.

Kapitel 8

Zusammenfassung

8.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Aus sicherheitstechnischen Aspekten ist eine möglichst hohe Griffigkeit auf Straßen anzustreben. Durch die Verkehrsbelastung wird diese jedoch sukzessive geringer, was durch kostenintensive und ressourcenzehrenden Instandhaltungsmaßnahmen wieder rückgängig gemacht werden muss. Um diesen Prozess bereits in der Planung und in der späteren Liegedauer der Straße bestmöglich vorhersagen zu können, wurde im Zuge des Forschungsprojektes PROGRIP (Prognose der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen - Entwicklung eines Labor-Verfahrens) ein Laborverfahren mit Hilfe der Prüfanlage nach Wehner/Schulze entwickelt, mit dessen Hilfe die Griffigkeitsabnahme zufolge der Verkehrsbelastung im Labor simuliert werden kann.
Dadurch war es möglich, ein Prognosemodell zu erstellen, mit dessen Hilfe die Griffigkeit zufolge einer prognostizierten Verkehrsbelastung bestimmt werden kann. Jedoch wurden dabei Annahmen getroffen, die im Zuge dieser Diplomarbeit auf ihre Anwendbarkeit überprüft wurden.
Zum einen wurden unbefahrene Bohrkerne aus dem Pannenstreifen gezogen, welche nicht den gleichen Deckenaufbau wie der befahrene Teil der Straße aufwiesen, um das Prognosemodell zu erstellen. Deshalb war das erste Ziel dieser Arbeit, befahrene Bohrkerne, welche unmittelbar neben den unbefahrenen Bohrkernen gezogen wurden, im Labor mittels Prüfanlage nach Wehner/Schulze zu prüfen und mit den gewonnenen Messdaten die Anwendbarkeit des in PROGRIP erstellten Prognosemodells zu überprüfen.
Weiters wurde in PROGRIP ein Modell für Asphalt- und Betondecken gemeinsam erstellt. Darum war das zweite Ziel dieser Arbeit zu überprüfen, ob es möglich ist, auf Grundlage der vorhandenen und der neu gewonnenen Daten ein Prognosemodell nur für Splittmastixasphalt-Deckschichten zu erstellen, mit dessen Hilfe die Griffigkeitsentwicklung genauer als mit dem vorhandenen Modell prognostiziert werden kann.

8.2 Versuchsprogramm

Das Versuchsprogramm gliedert sich in zwei Teile. Da es sich um bereits befahrene Bohrkerne handelt, die im Rahmen dieser Diplomarbeit geprüft wurden, musste im ersten Teil ein künstliches Startniveau für die Griffigkeit erzeugt werden, welches dem ursprünglichen unbefahrenen Zustand entspricht. Im Forschungsprojekt PROGRIP wurde bereits ein Verfahren entwickelt, bei dem durch Sandstrahlzyklen die Oberfläche aufgeraut wird, und so ein künstliches Ausgangsniveau für die Griffigkeit erzeugt werden kann. Dieses Verfahren wurde auch für die in dieser Arbeit geprüften befahrenen Bohrkerne angewandt.
Nachdem das künstliche Startniveau erreicht wurde, wurde im zweiten Teil jeder Bohrkern in der Prüfanlage nach Wehner/Schulze durch Polierüberrollungen mittels Gummiwalzen und einem Quarzmehl-Wasser-Gemisch so lange poliert, bis die Griffigkeit den ursprünglichen Griffigkeitswert der befahrenen Straße wieder erreicht hat. Durch mehrere Zwischenmessungen der Griffigkeit konnte so eine Kurve erstellt werden, die einen Zusammenhang zwischen simulierten

Überrollungen und der gemessenen Griffigkeit im Labor ermöglicht.
Durch die in Versuchen gewonnen Korrelationen zwischen den simulierten Überrollungen und den dazugehörigen Griffigkeiten konnten in weiterer Folge die erforderlichen Überrollungen in der Prüfanlage nach Wehner/Schulze in Korrelation zu den tatsächlichen Verkehrszahlen eines jeden befahrenen Bohrkernes gestellt werden. Durch die so gewonnen Datenpunkte lässt sich eine Gerade interpolieren, mit deren Hilfe eine Prognose ermöglicht wird.
Somit lässt sich anhand von prognostizierten Verkehrsbelastungen die erforderlichen Polierüberrollungen in der Prüfanlage nach Wehner/Schulze bestimmen. Dadurch kann an einem im Labor hergestellten Prüfkörper der Verlauf der Griffigkeit vorhergesagt werden.

8.3 Versuchsergebnisse

Durch die Prüfung der befahrenen Bohrkerne in der Prüfanlage nach Wehner/Schulze konnte die Anwendbarkeit des in PROGRIP erstellten Prognosemodells bestätigt werden.
Die nur durch die im Zuge dieser Arbeit durchgeführten Prüfungen gewonnen Datenpunkte erzeugen annähernd dieselbe Regressionsgerade wie in PROGRIP. Zudem konnten mit dem vorhandenen Prognosemodell aus PROGRIP alle geprüften Strecken mit einer Ausnahme mit einer 80 prozentigen Prognosewahrscheinlichkeit vorhergesagt werden.
Bei der Erstellung eines Prognosemodells ausschließlich für Asphaltoberflächen aus Splittmastixasphalt konnte hingegen nur eine geringfügige Verbesserung zum bestehenden Modell erzielt werden. Aufgrund des geringen Probenumfanges mit allesamt wenigen Überrollungen empfiehlt es sich jedoch das Prognoseverfahren aus PROGRIP anzuwenden, da durch den höheren Probenumfang und die durch den Verkehr häufiger überrollten Strecken zuverlässiger prognostiziert werden kann.

8.4 Ausblick

Das im Rahmen des Forschungsprojektes PROGRIP erstellte Prognosemodell konnte durch die Auswertungen in dieser Diplomarbeit untermauert werden. Jedoch muss dennoch festgehalten werden, dass nur eine einzige Strecke mit einer sehr hohen Verkehrsbelastung in die Erstellung der Prognoselinie eingeflossen ist und die restlichen Strecken eine eher geringe Verkehrsbelastung vorzuweisen hatten. Deshalb entsteht ein relativ großer Abstand bei den Datenpunkten. Um das Verfahren nach PROGRIP noch zu verbessern, wird es in Zukunft nötig sein, auch weitere Strecken mit höheren Verkehrsbelastungen zu prüfen, um bestätigen zu können, dass das Prognosemodell seine Gültigkeit auch für höhere Verkehrsbelastungen behält.

Literaturverzeichnis

[1] J. Dames, H. Rodewald, S. Huschek und J. Lindner. *Einfluß der Polierbarkeit von Sand auf die Griffigkeit von Asphaltbetondeckschichten*. Forschungsber. Bonn-Bad Godesberg : Bundesminister für Verkehr, Abt. Straßenbau, 1988. 71 S.

[2] B. Hofko, H. Kugler, G. Chankov und R. Spielhofer. „Correlating field and lab Measurements of skid Resistance by skiddometer and Wehner/Schulze device“. In: Transportation Research Board 96th Annual Meeting. (8.–12. Jan. 2017). Washington DC, United States, 2007, S. 1–12.

[3] S. Huschek. „Bewertung der Straßengrifigkeit bei Nässe“. In: *Straße und Autobahn* 1995 (2003), S. 125–131.

[4] M. Kappel. *Angewandter Straßenbau : Straßenfertiger im Einsatz*. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2016. ISBN: 978-3-658-12150-1.

[5] L. Kirchmaier. „Bewertung der Korngrößenabhängigkeit des Polierwiderstandes von Sanden mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze“. Diplomarbeit. Technische Universität Wien, 2007.

[6] L. Kirchmaier. „Einfluss feiner Gesteinskörnungen auf die Griffigkeit von Deckschichten im Straßenbau : grundlegende Untersuchungen zum Polierverhalten mit dem Prüfgerät nach Wehner/Schulze neuer Bauart“. Dissertation. Technische Universität Wien, 2011.

[7] W. Kluger-Eigl. „Entwicklung eines Bewertungshintergrundes für das Griffigkeitsmesssystem GripTester in Österreich : Vergleichsuntersuchungen GripTester - RoadSTAR“. Dissertation. Technische Universität Wien, 2009.

[8] H. Kugler, B. Hofko und R. Spielhofer. *Prognose der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen - Entwicklung eines Labor-Verfahrens PROGRIP*. Forschungsber. Wien : Verkehrsinfrastrukturforschung (VIF2012), 2015. 174 S.

[9] H. Kugler, B. Hofko, R. Spielhofer und G. Chankov. „Griffigkeitsprognose von Autobahnen – das „Wiener Modell““. In: *Straße und Autobahn* 01(17) (2017), S. 33–42.

[10] H. W. Kummer und W. E. Meyer. „Versuch der Festlegung von Anforderungen an die Griffigkeit von Hauptverkehrsstraßen außerhalb von Ortschaften“. In: *Internationales Colloquium über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe : am 5. und 6. Juni 1968 in Berlin*. Hrsg. von B. Wehner und K. H. Schulze. Berlin, München, Düsseldorf: Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, 1970, S. 13–63. ISBN: 3-433-00177-4.

[11] S. Labisch, C. Weber und P. Otto. *Technisches Zeichnen Grundkurs*. Viewegs Fachbücher der Technik. Vieweg+Teubner Verlag, 2013. ISBN: 978-3-663-05771-0.

[12] A. Pfeiler. „Erhöhung der Griffigkeit von Asphaltstrassen: der Einfluss der Polierresistenz feiner Gesteinskörnungen auf das Griffigkeitsverhalten von Asphaltdeckschichten“. Dissertation. Technische Universität Wien, 2004.

[13] B. Sudbrack. „Die Griffigkeit von Asphaltbeton unter Berücksichtigung simulierter Verkehrsbeanspruchung und variabler Wasserfilmdicken“. Dissertation. Technische Hochschule Darmstadt, 1978.

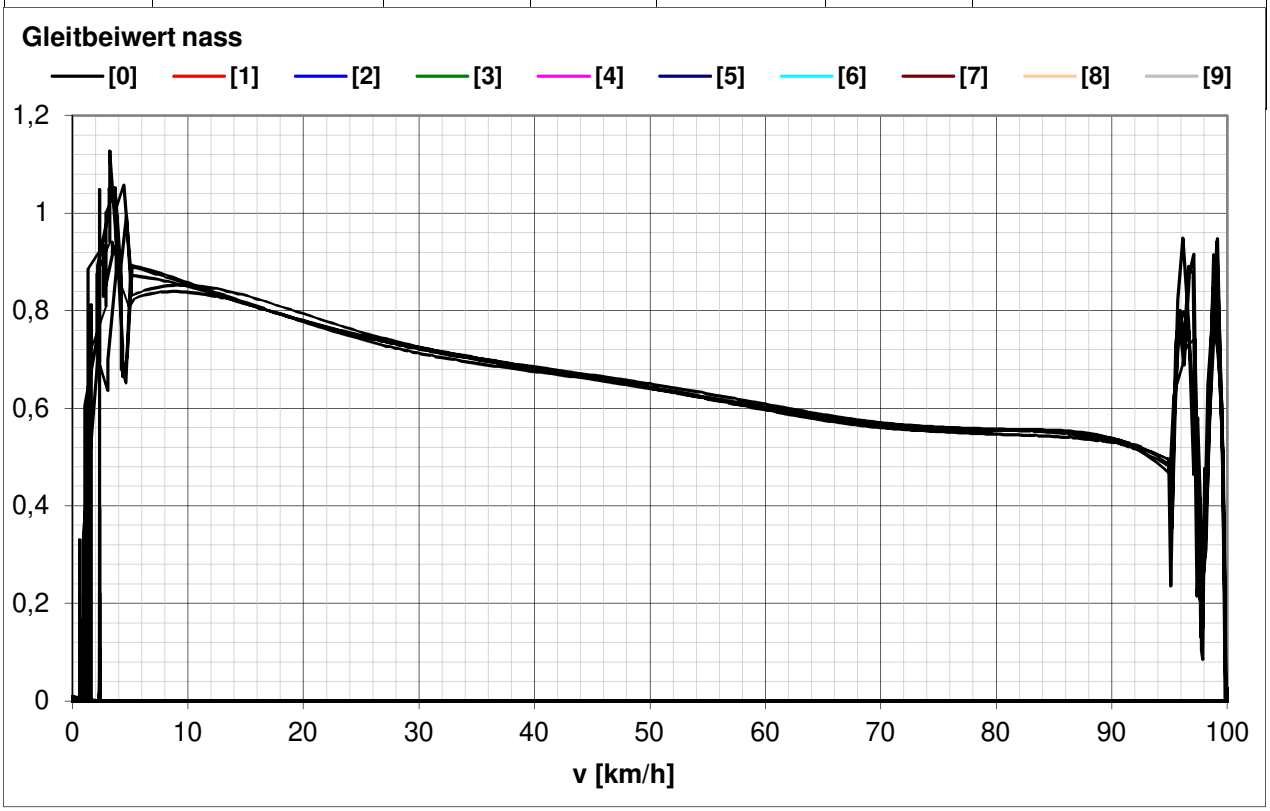
[14] S. Velske, H. Mentlein und P. Eymann. *Strassenbau, Strassenbautechnik*. 7. Aufl. Köln: Werner, 2013. ISBN: 978-3-804-13883-4.

[15] E. Zipkes. „Über das Leistungsvermögen einer Strassenoberfläche“. In: *Griffigkeit, Bremsspur, Kraftübertragung* Mitteilung Nr. 56 (1984), S. 3–15.

Anhang A - Prüfprotokolle

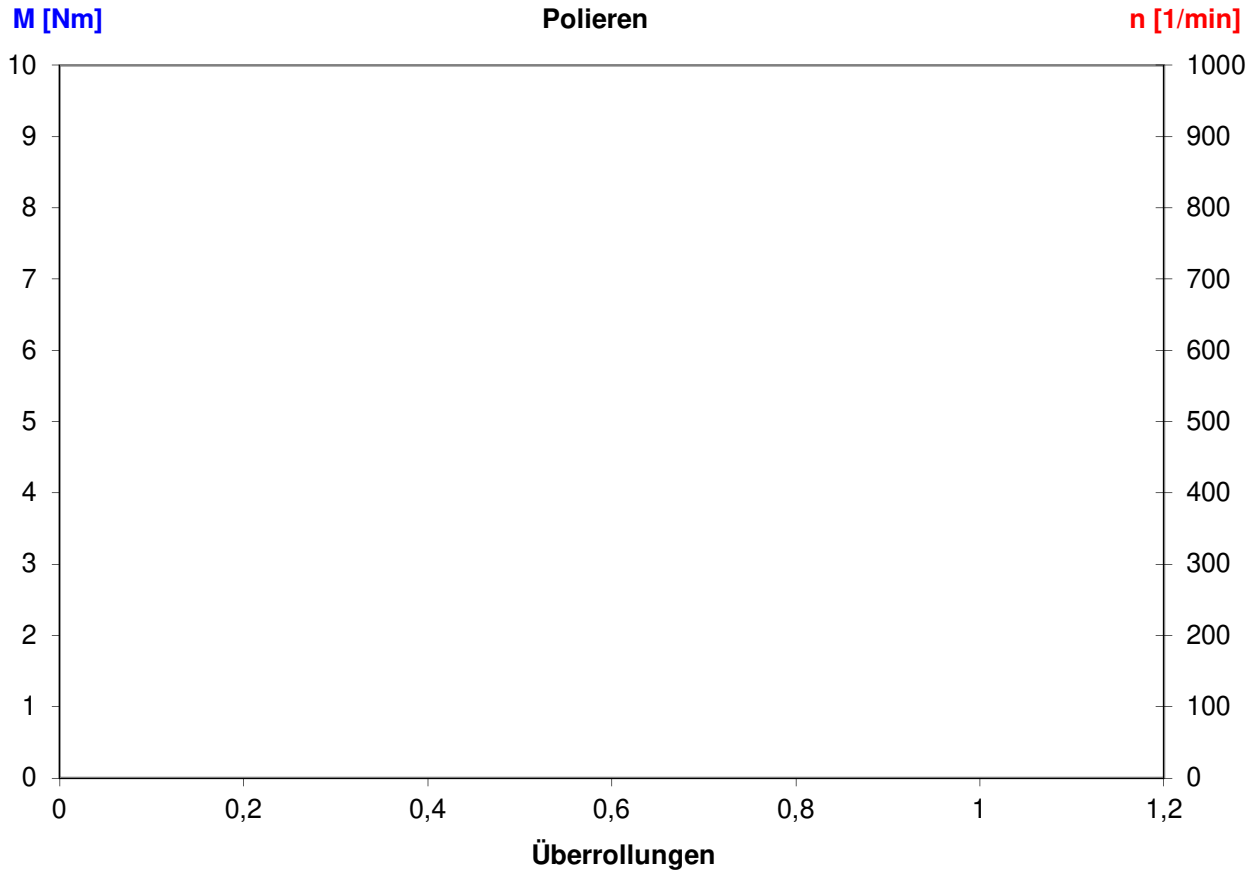
42_3

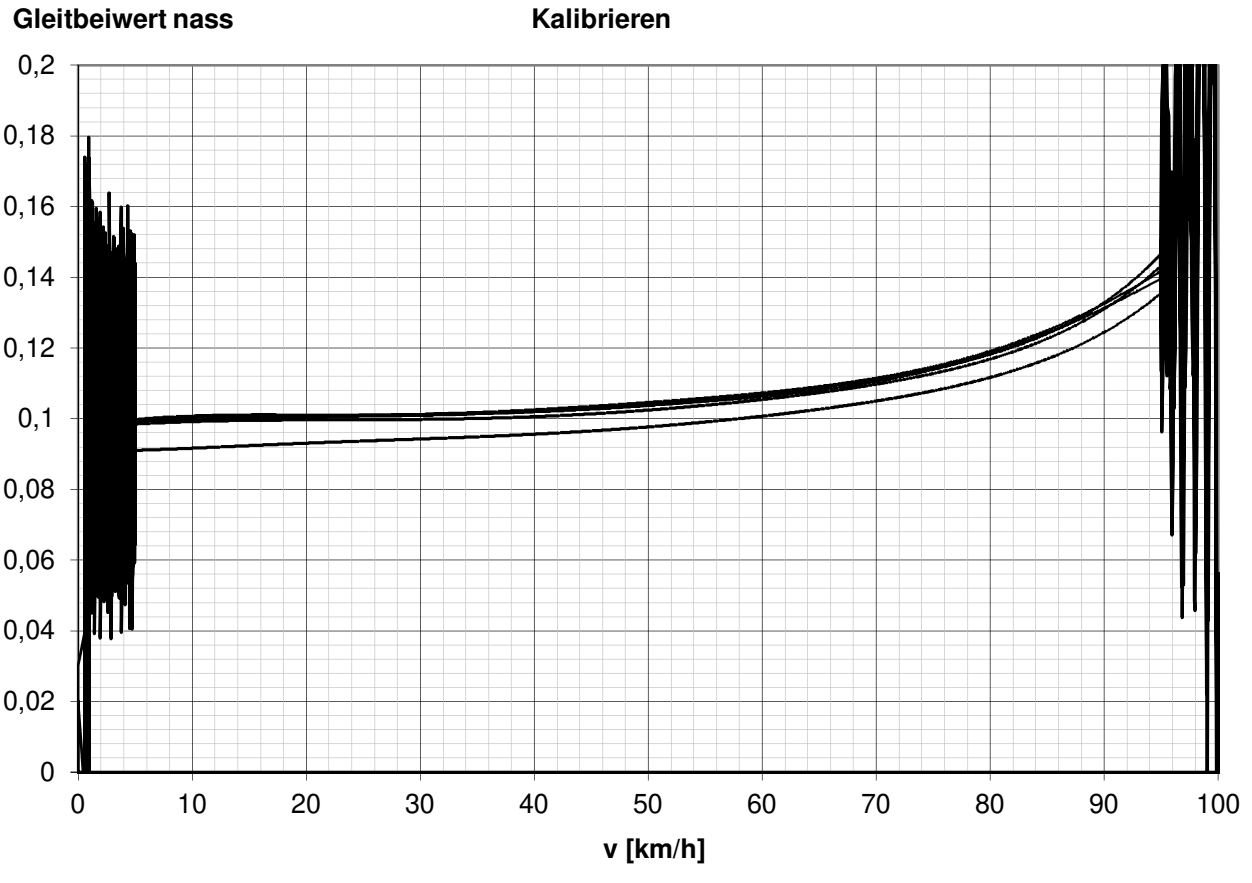
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	26.03.2018 08:28	0	100,0	61,26	0,101	
KAL 2.	26.03.2018 08:58	0	100,0	59,33	0,105	
KAL 3.	26.03.2018 09:27	0	100,0	58,63	0,106	
KAL 4.	26.03.2018 09:56	0	100,0	59,11	0,107	
KAL 5.	26.03.2018 10:31	0	100,0	58,13	0,107	
[0] 1.	26.03.2018 08:38	0	100,0	10,75	0,598	
[0] 2.	26.03.2018 09:07	0	100,0	10,70	0,608	
[0] 3.	26.03.2018 09:35	0	100,0	10,79	0,600	
[0] 4.	26.03.2018 10:05	0	100,0	10,78	0,602	
[0] 5.	26.03.2018 10:39	0	100,0	10,82	0,597	



PWS-Kalibrierung

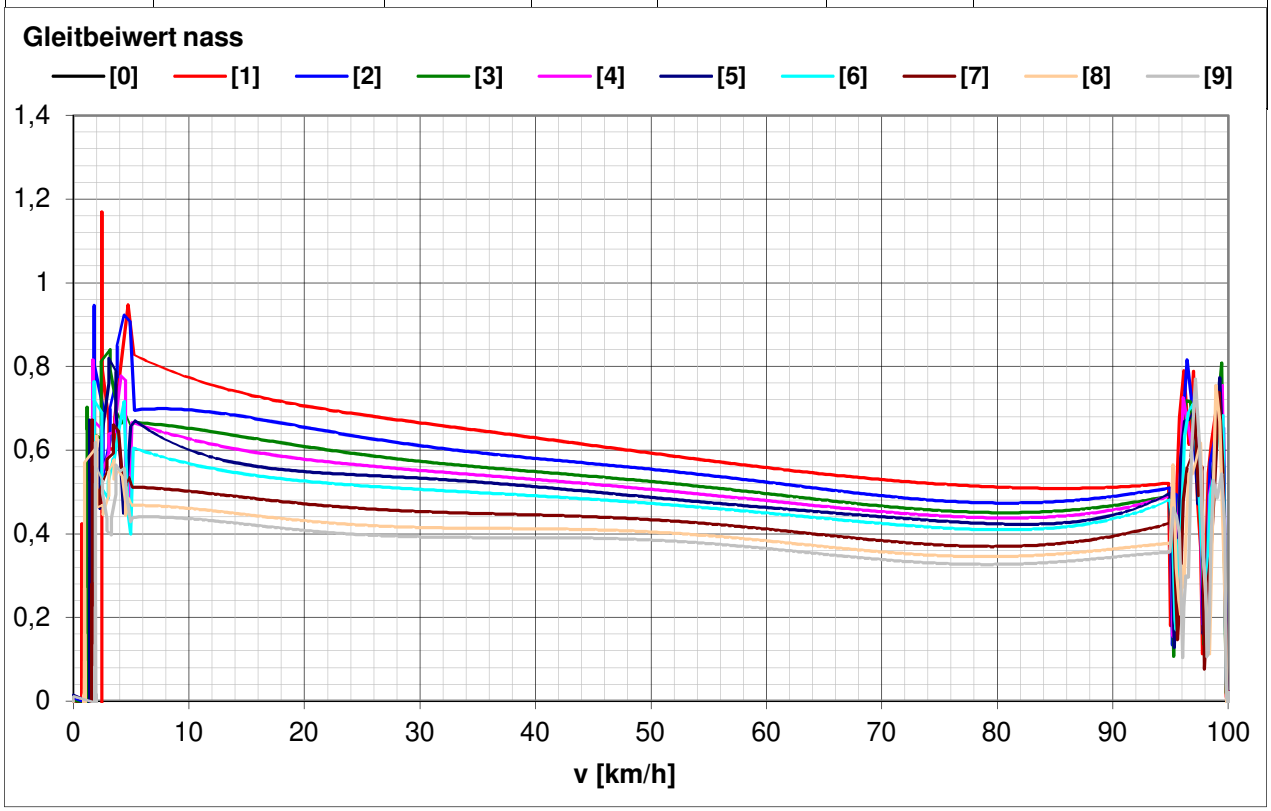
Probe	Ergebnis	Bemerkung





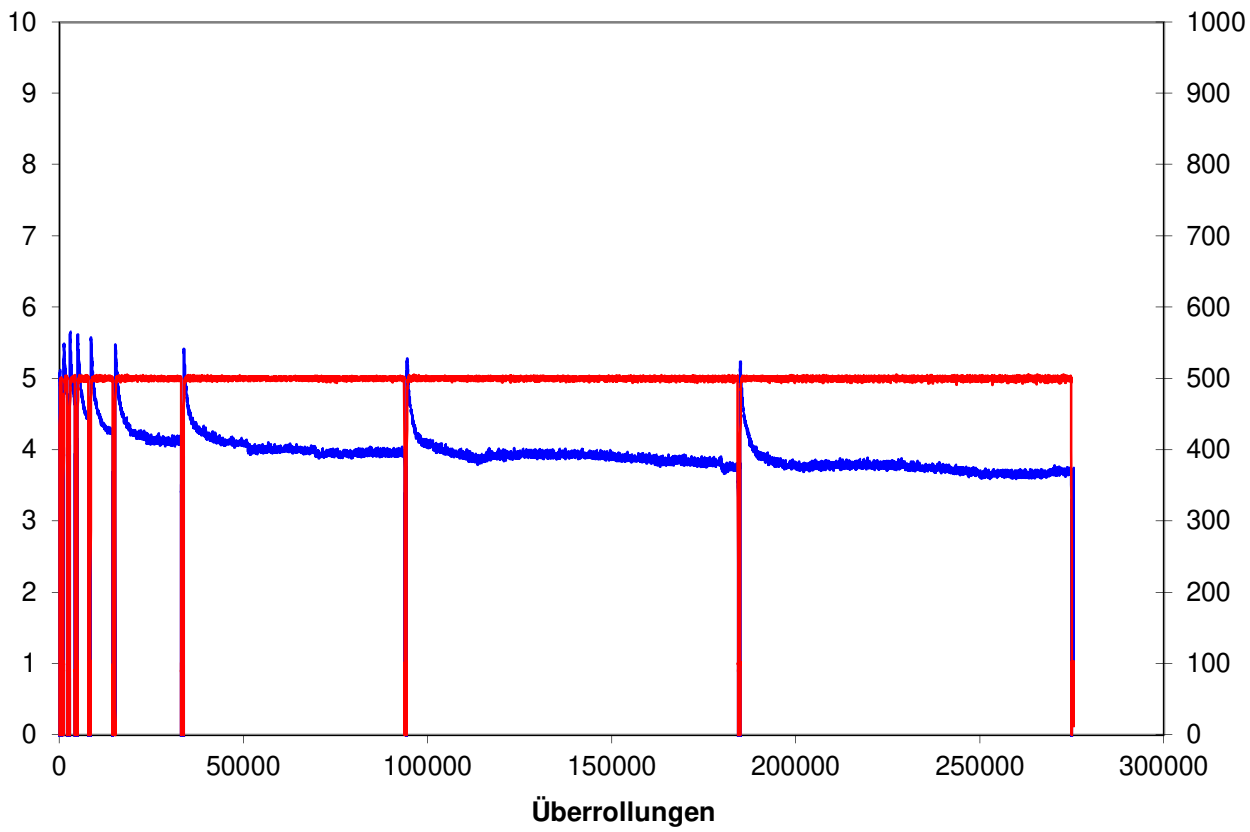
42_3

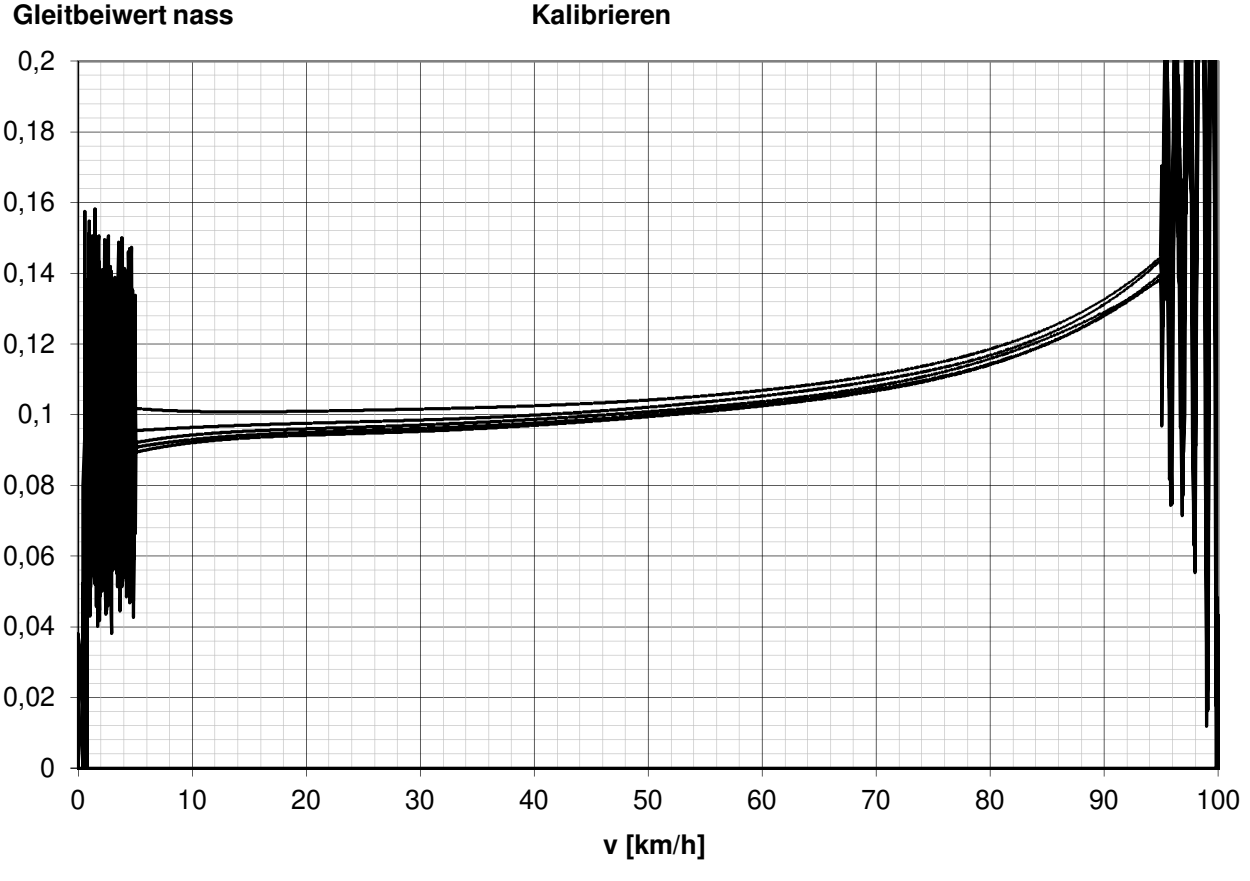
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	26.03.2018 10:55	1113	100,0	57,68	0,107	
KAL 2.	26.03.2018 11:46	8457	100,0	59,11	0,105	
KAL 3.	26.03.2018 13:30	94317	100,0	59,39	0,104	
KAL 4.	26.03.2018 14:51	184941	100,0	60,18	0,103	
KAL 5.	26.03.2018 16:16	275565	100,0	60,39	0,102	
[1] 1.	26.03.2018 11:03	1113	100,0	11,59	0,558	
[2] 1.	26.03.2018 11:18	2727	100,0	12,48	0,523	
[3] 1.	26.03.2018 11:35	4845	100,0	13,21	0,496	
[4] 1.	26.03.2018 11:54	8457	100,0	13,65	0,479	
[5] 1.	26.03.2018 12:13	15078	100,0	14,17	0,463	
[6] 1.	26.03.2018 12:40	33696	100,0	14,70	0,449	
[7] 1.	26.03.2018 13:38	94317	100,0	16,08	0,411	
[8] 1.	26.03.2018 15:00	184941	100,0	17,41	0,383	
[9] 1.	26.03.2018 16:25	275565	100,0	18,26	0,365	



PWS-Kalibrierung

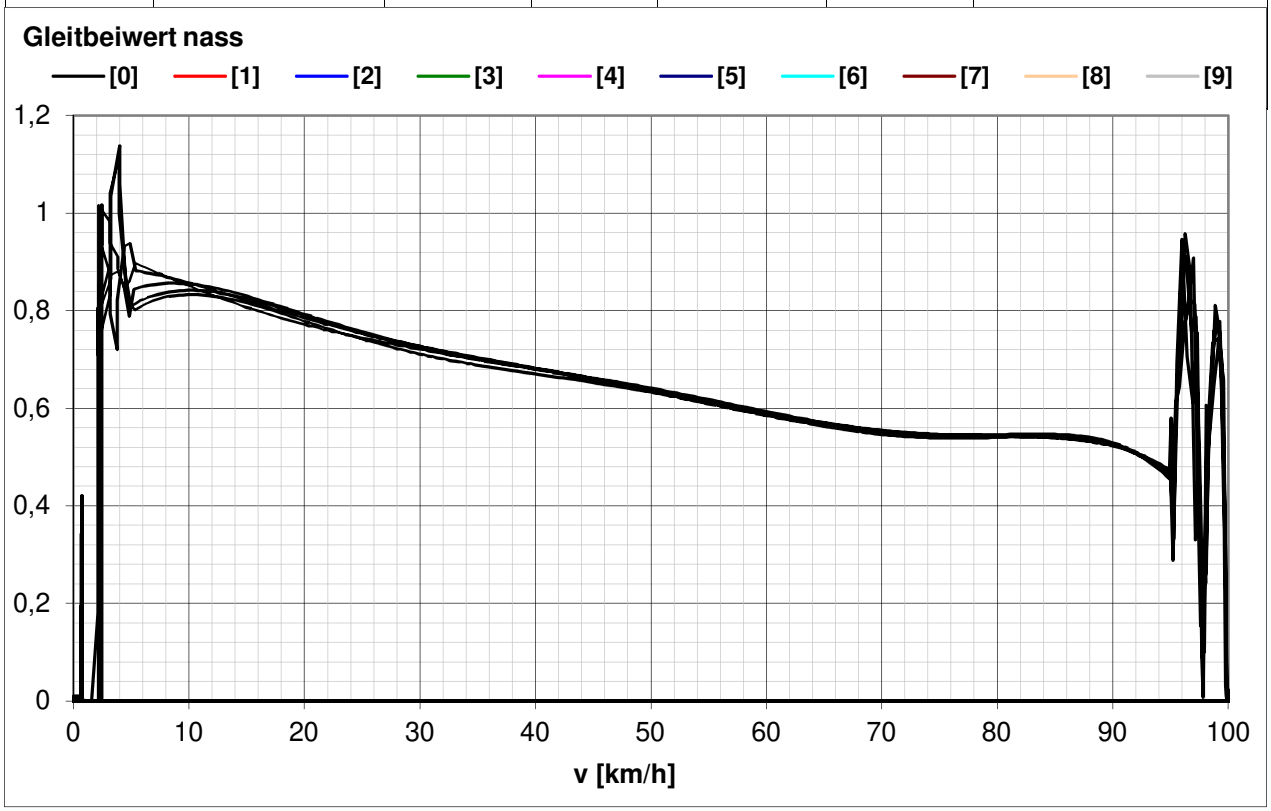
Probe	Ergebnis	Bemerkung





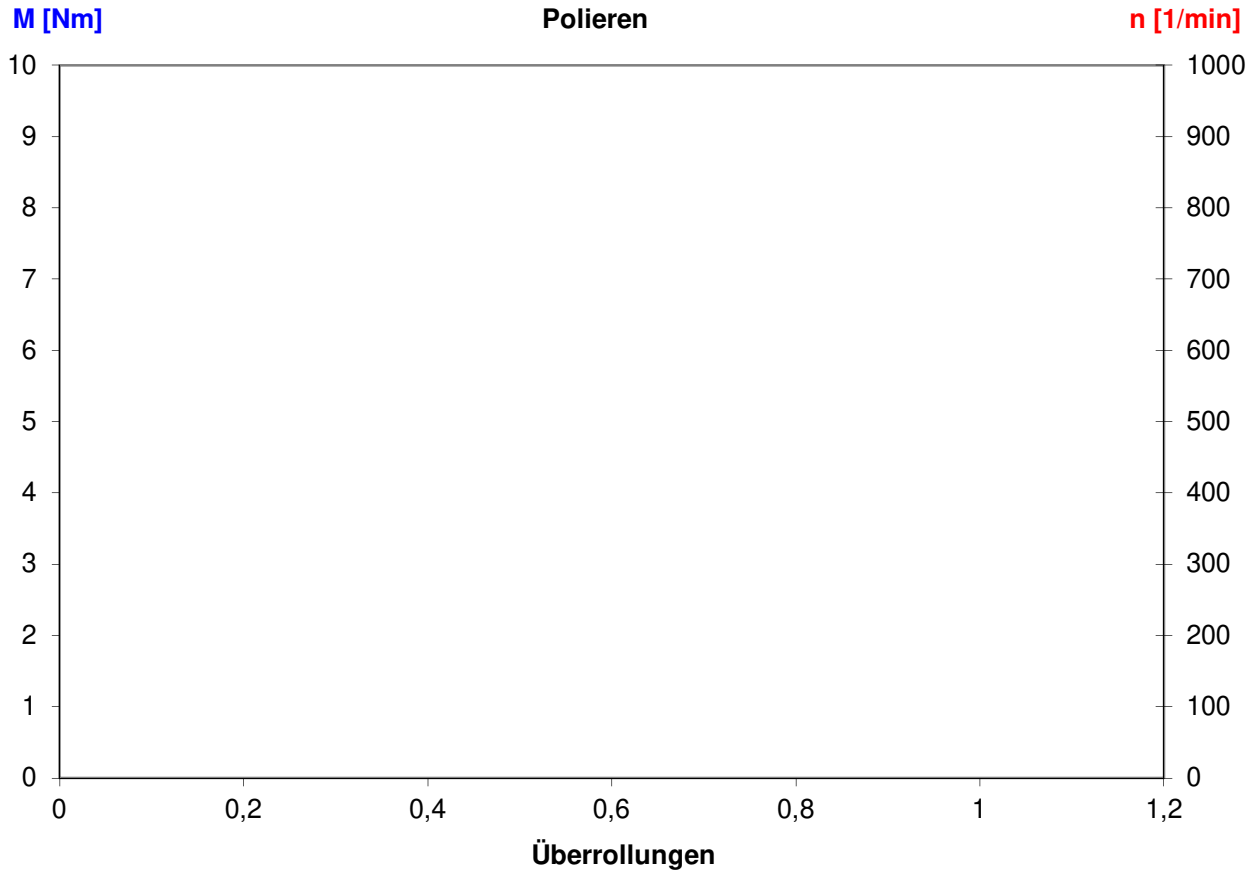
42_4

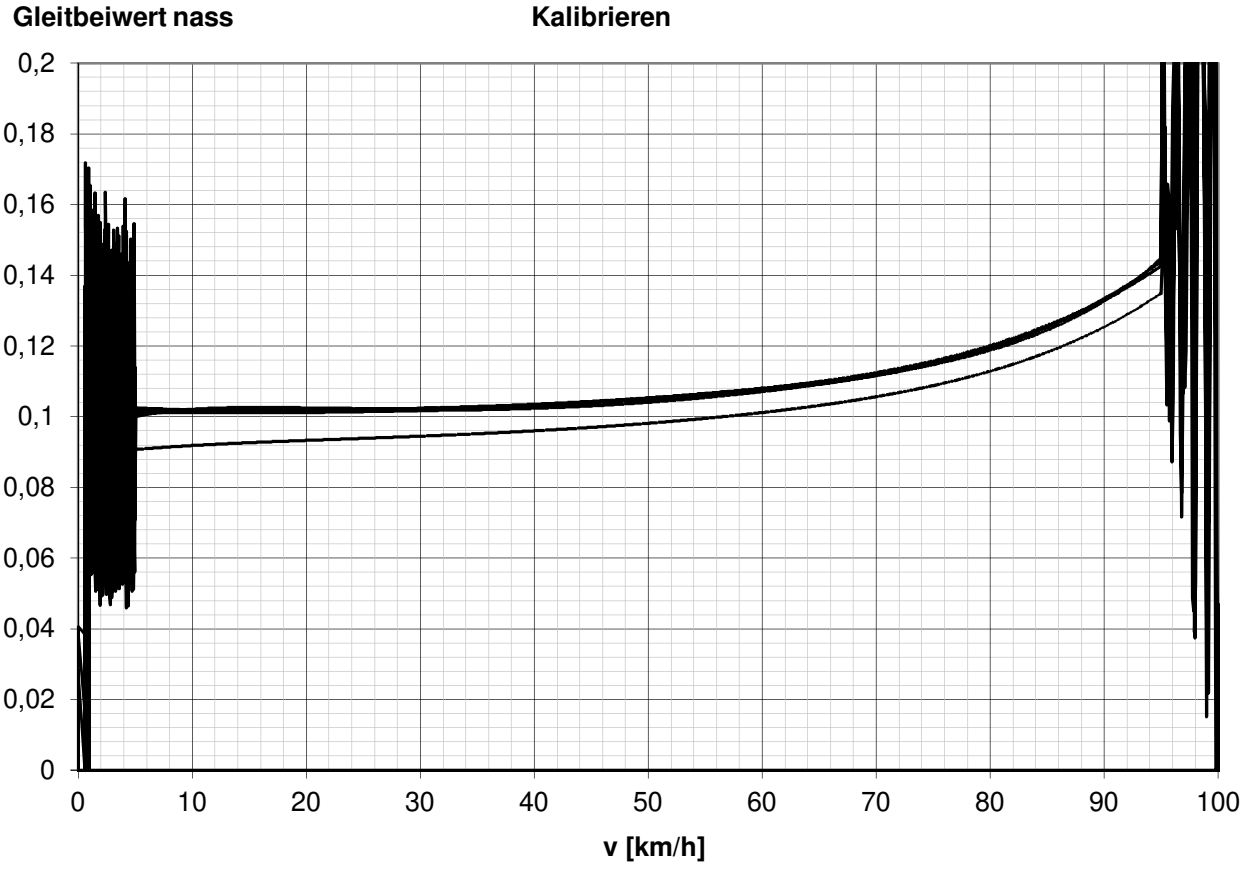
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	27.03.2018 08:08	0	100,0	60,99	0,101	
KAL 2.	27.03.2018 08:37	0	100,0	57,64	0,107	
KAL 3.	27.03.2018 09:07	0	100,0	57,22	0,108	
KAL 4.	27.03.2018 09:37	0	100,0	57,52	0,108	
KAL 5.	27.03.2018 10:10	0	100,0	58,42	0,107	
[0] 1.	27.03.2018 08:18	0	100,0	10,76	0,590	
[0] 2.	27.03.2018 08:47	0	100,0	10,73	0,590	
[0] 3.	27.03.2018 09:16	0	100,0	10,74	0,593	
[0] 4.	27.03.2018 09:47	0	100,0	10,83	0,585	
[0] 5.	27.03.2018 10:18	0	100,0	10,90	0,586	



PWS-Kalibrierung

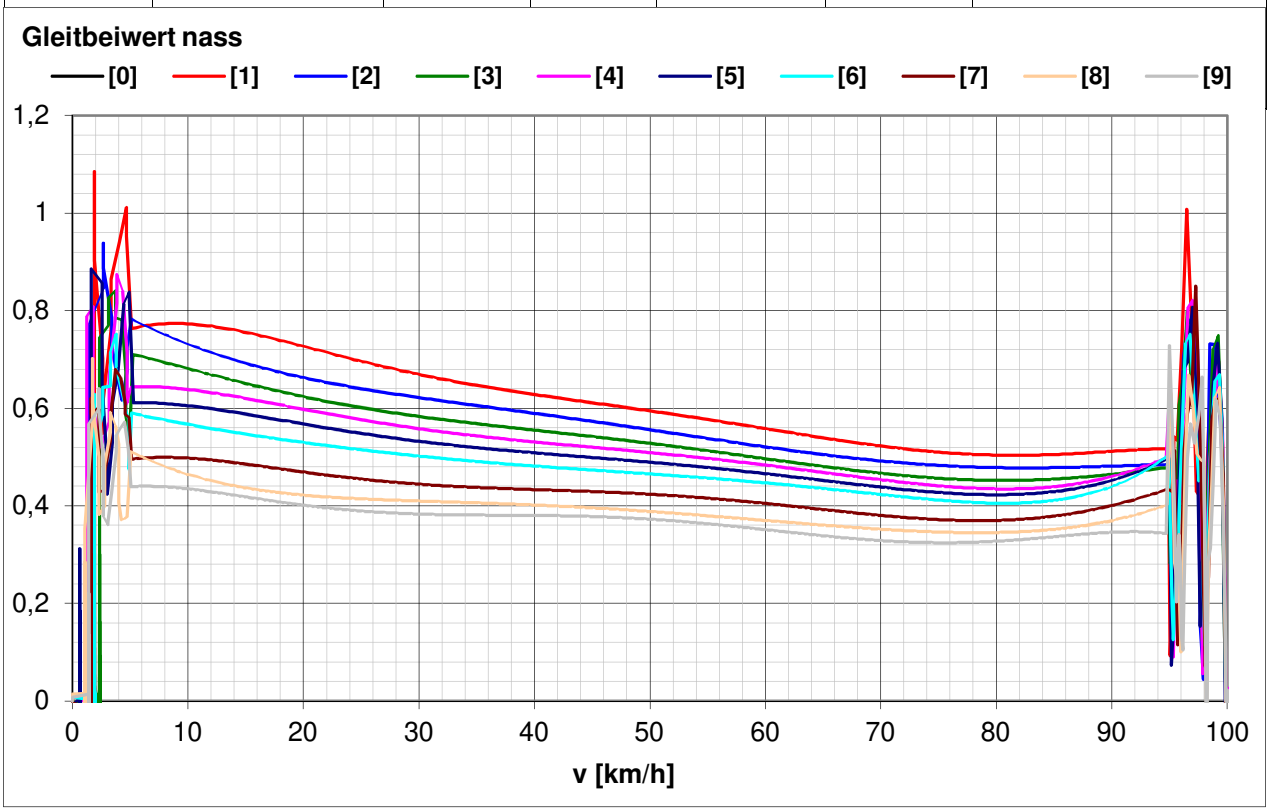
Probe	Ergebnis	Bemerkung





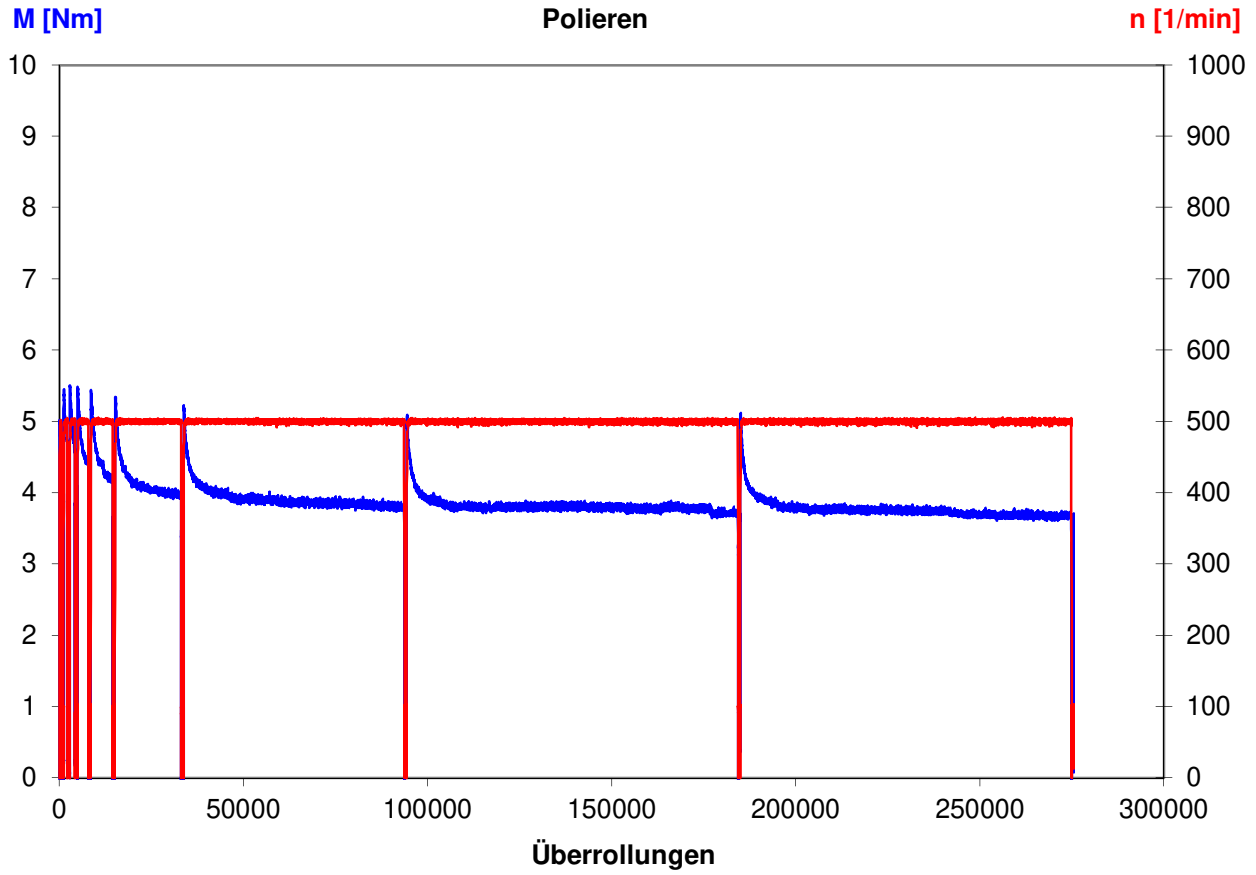
42_4

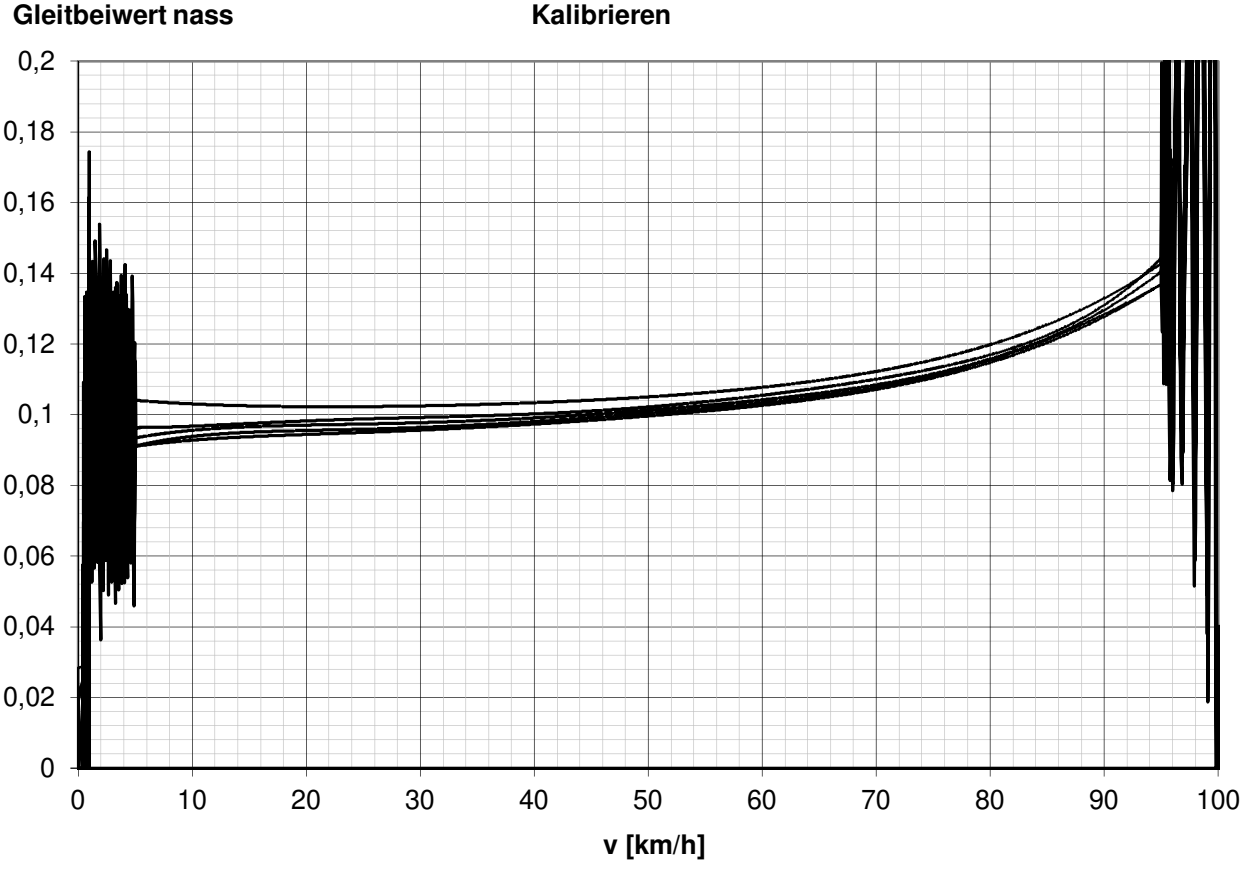
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	27.03.2018 10:45	1113	100,0	58,39	0,108	
KAL 2.	27.03.2018 11:36	8454	100,0	59,49	0,105	
KAL 3.	27.03.2018 13:21	94320	100,0	60,56	0,104	
KAL 4.	27.03.2018 14:41	184941	100,0	59,70	0,103	
KAL 5.	27.03.2018 16:03	275568	100,0	60,26	0,103	
[1] 1.	27.03.2018 10:54	1113	100,0	11,54	0,558	
[2] 1.	27.03.2018 11:09	2727	100,0	12,34	0,521	
[3] 1.	27.03.2018 11:25	4839	100,0	13,03	0,497	
[4] 1.	27.03.2018 11:44	8454	100,0	13,57	0,483	
[5] 1.	27.03.2018 12:04	15075	100,0	14,09	0,466	
[6] 1.	27.03.2018 12:30	33696	100,0	14,86	0,447	
[7] 1.	27.03.2018 13:31	94320	100,0	16,44	0,405	
[8] 1.	27.03.2018 14:50	184941	100,0	17,75	0,370	
[9] 1.	27.03.2018 16:12	275568	100,0	18,67	0,351	



PWS-Kalibrierung

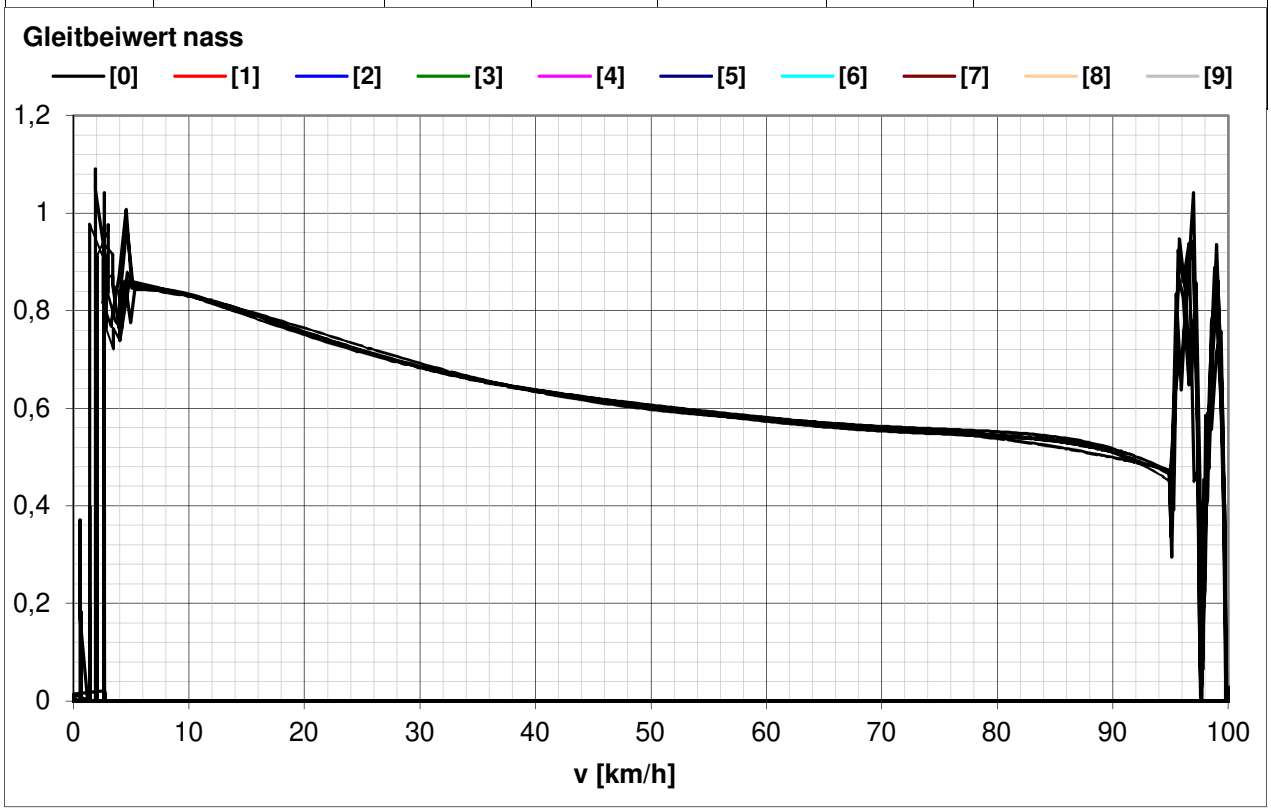
Probe	Ergebnis	Bemerkung





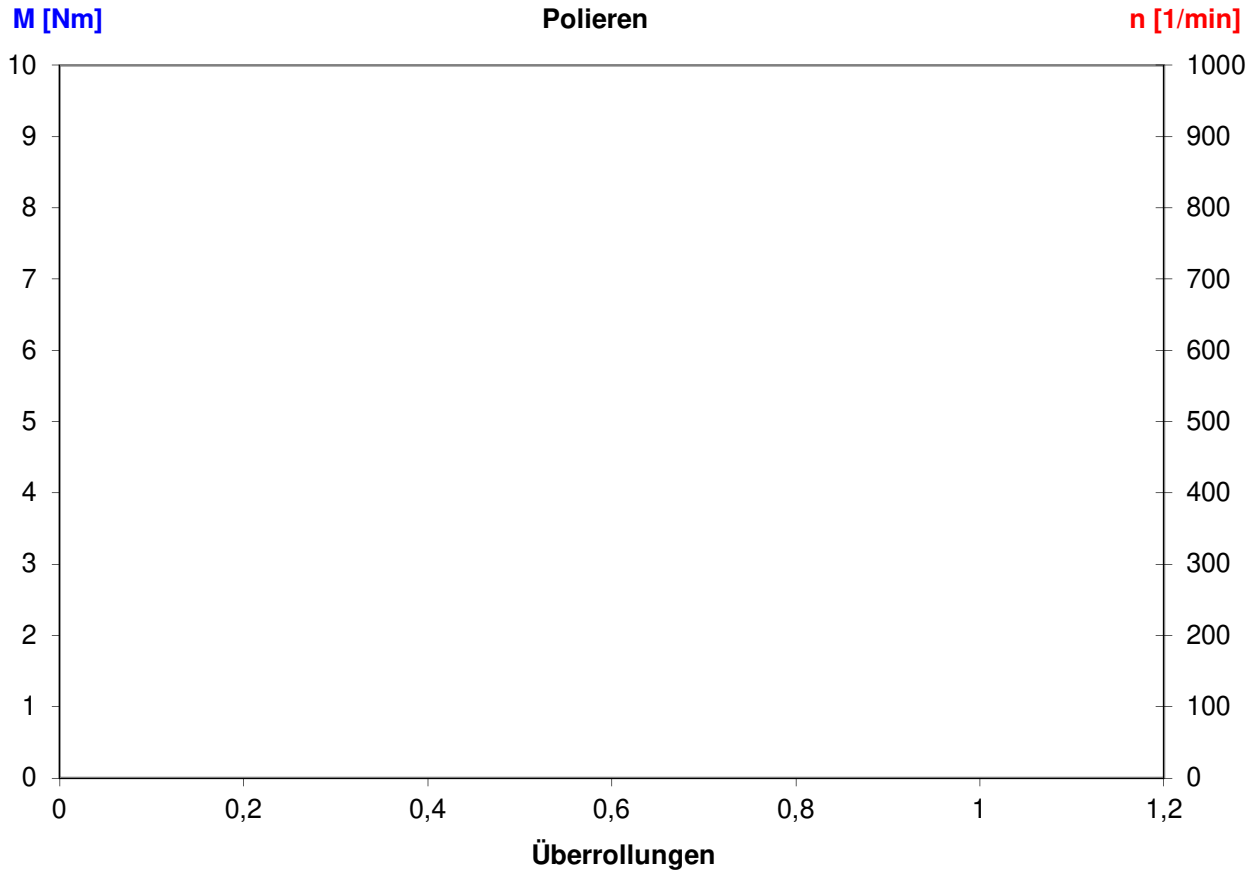
51-2

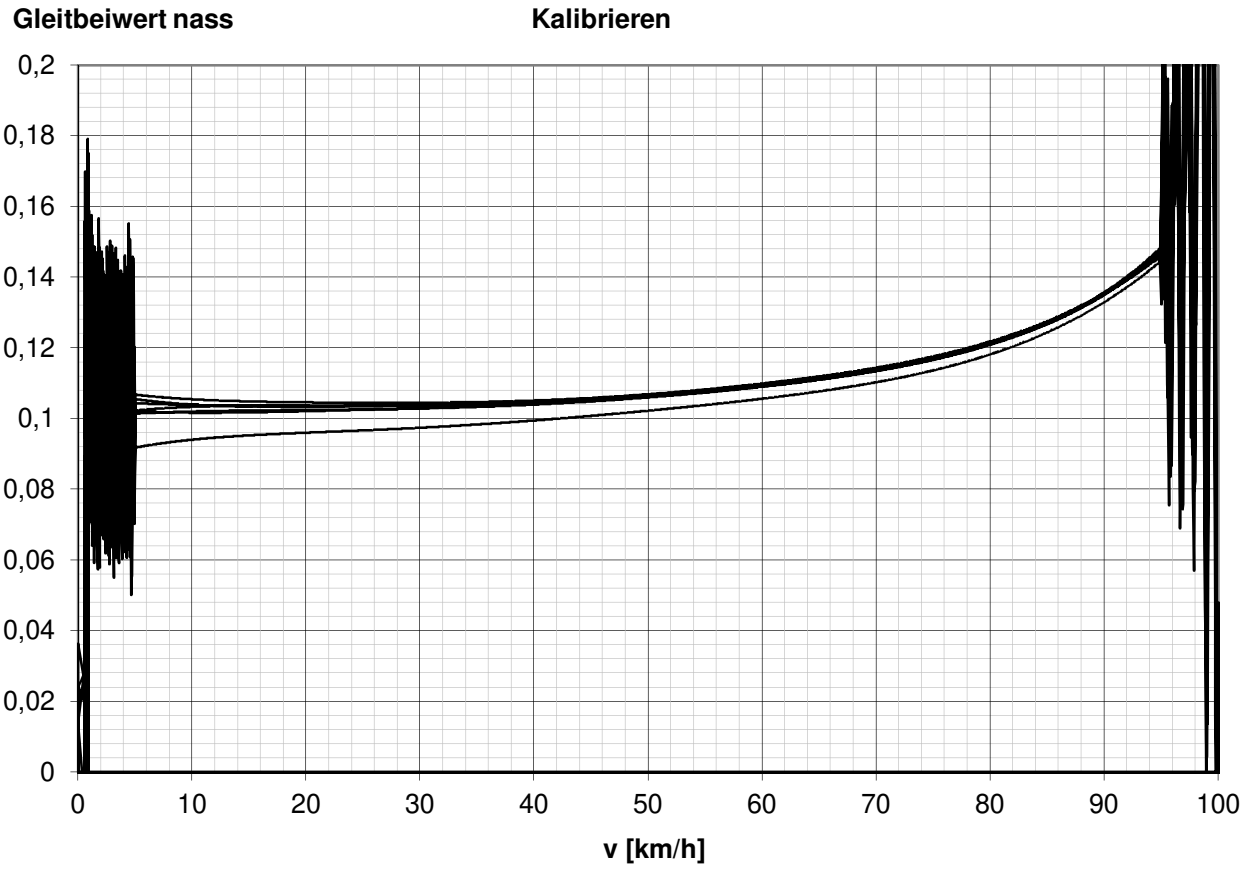
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	20.03.2018 10:11	0	100,0	60,08	0,106	
KAL 2.	20.03.2018 10:41	0	100,0	58,47	0,109	
KAL 3.	20.03.2018 11:07	0	100,0	58,02	0,109	
KAL 4.	20.03.2018 12:05	0	100,0	58,12	0,110	
KAL 5.	20.03.2018 12:33	0	100,0	57,85	0,109	
KAL 6.	20.03.2018 13:02	0	100,0	57,53	0,109	
KAL 7.	20.03.2018 14:00	0	100,0	55,66	0,110	
[0] 1.	20.03.2018 10:21	0	100,0	11,39	0,577	
[0] 2.	20.03.2018 10:49	0	100,0	11,37	0,573	
[0] 3.	20.03.2018 12:14	0	100,0	11,37	0,576	
[0] 4.	20.03.2018 12:42	0	100,0	11,32	0,581	
[0] 5.	20.03.2018 14:08	0	100,0	11,31	0,579	



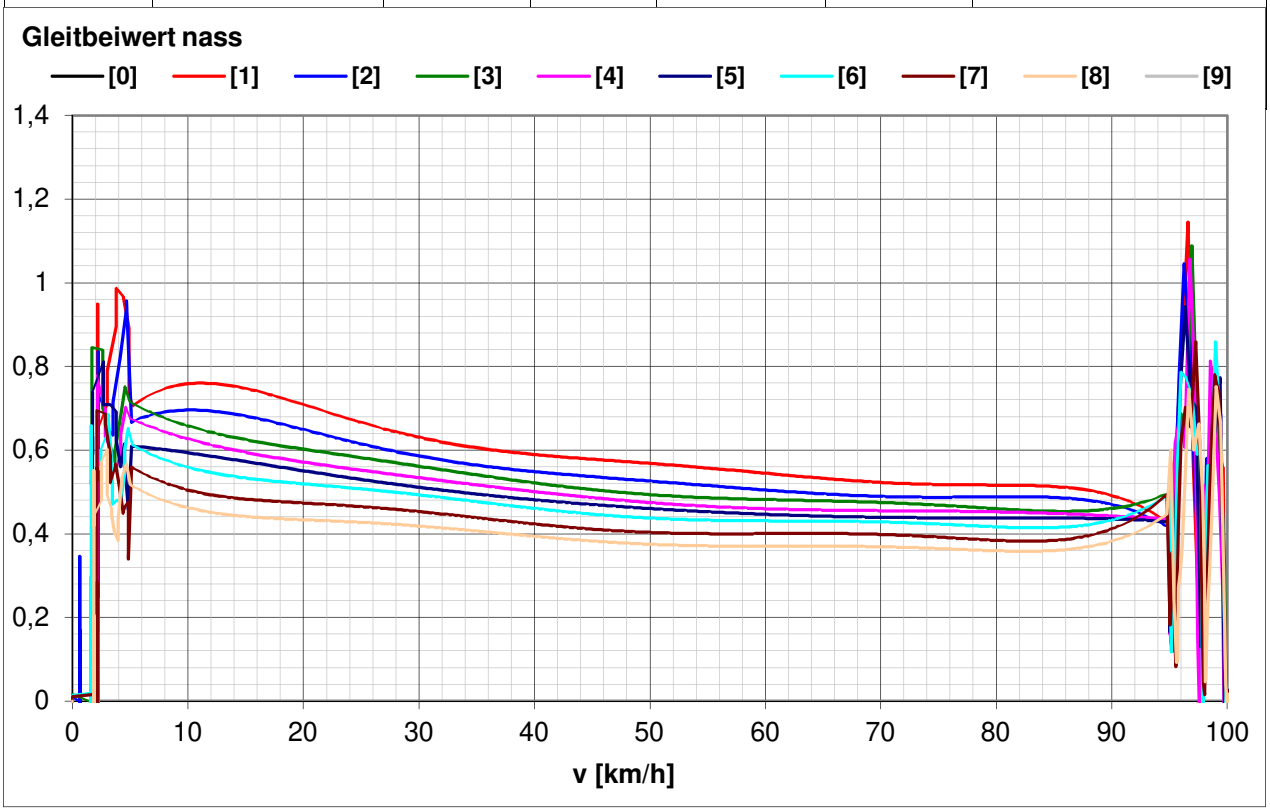
PWS-Kalibrierung

Probe	Ergebnis	Bemerkung



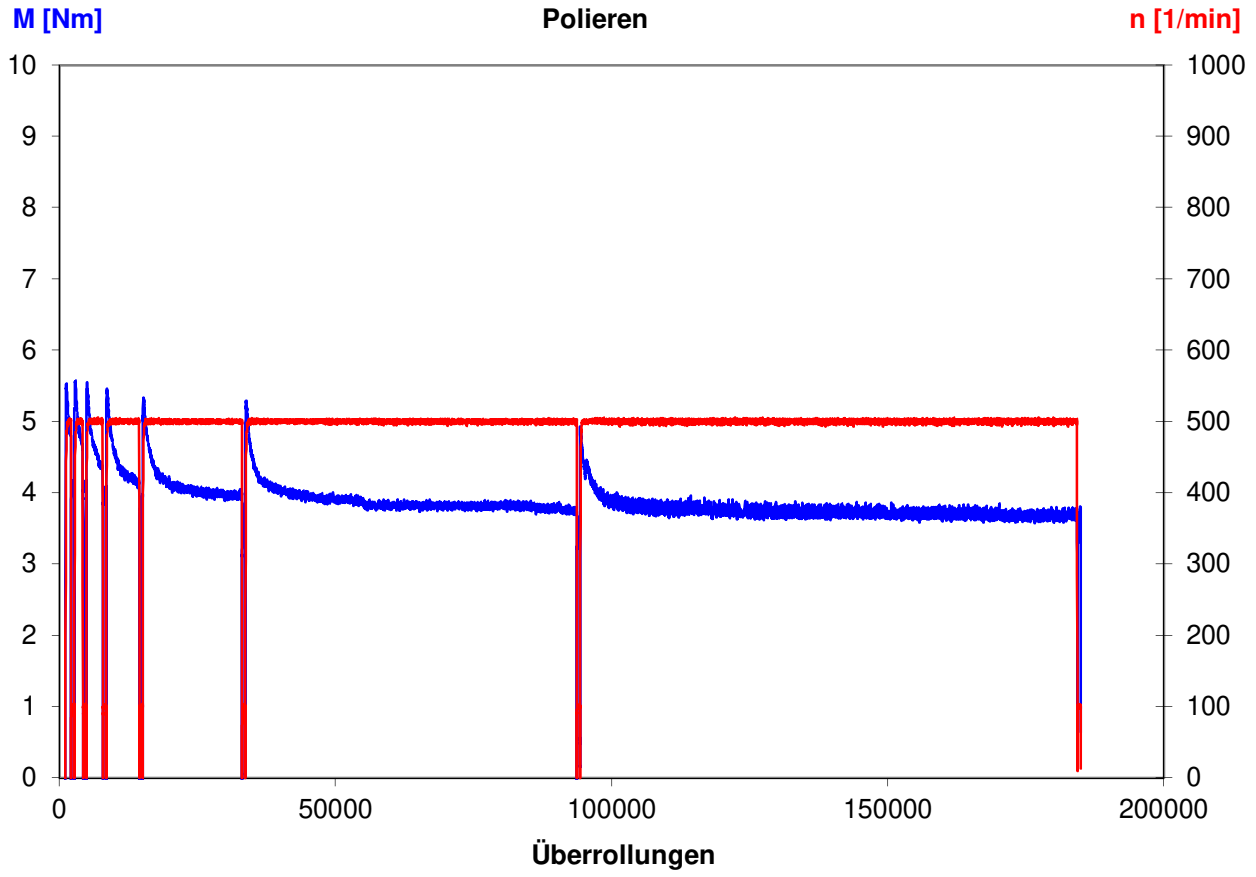


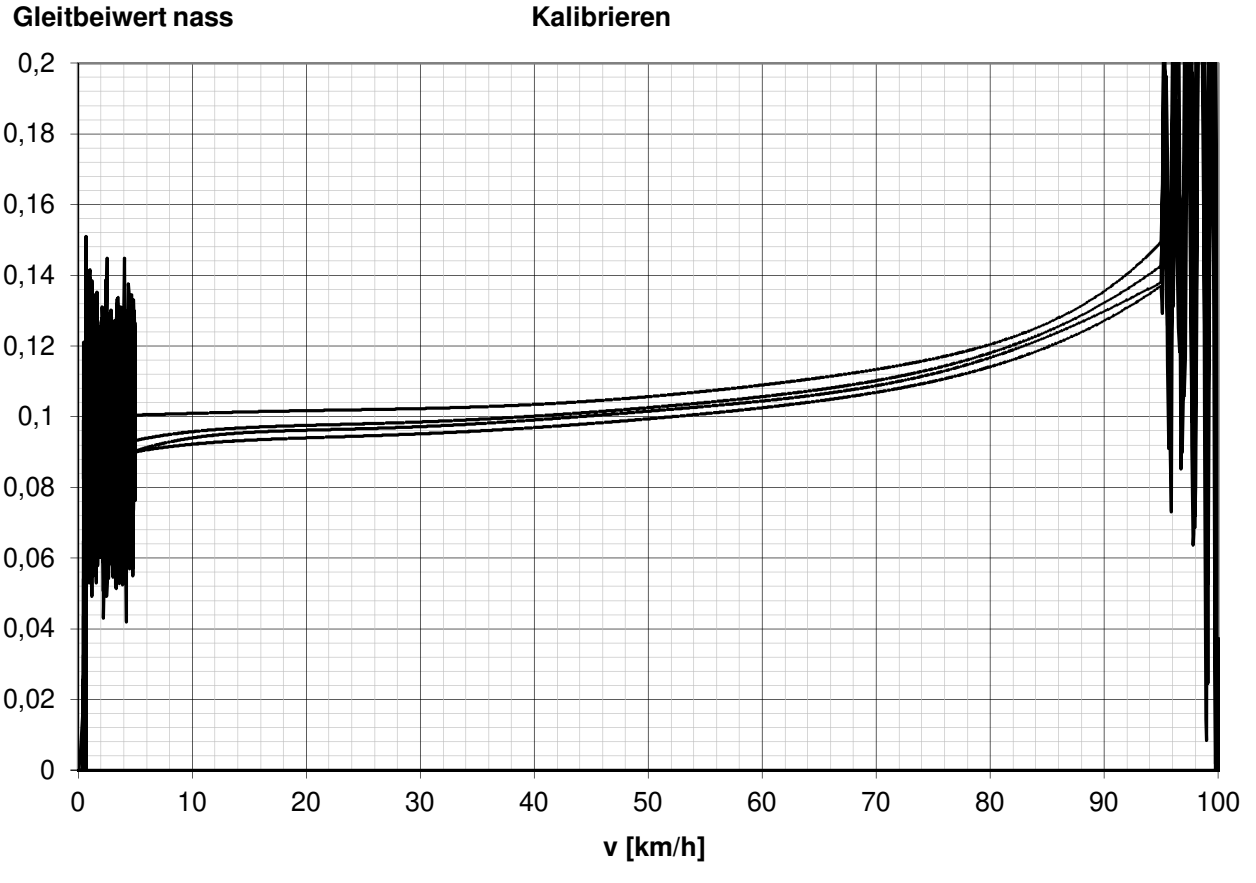
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen
KAL 1.	20.03.2018 14:23	1113	100,0	56,52	0,109	
KAL 2.	20.03.2018 15:14	8457	100,0	58,84	0,106	
KAL 3.	20.03.2018 17:01	94317	100,0	59,11	0,104	
KAL 4.	21.03.2018 08:49	184941	100,0	59,88	0,103	
[1] 1.	20.03.2018 14:32	1113	100,0	12,10	0,545	
[2] 1.	20.03.2018 14:47	2730	100,0	13,04	0,505	
[3] 1.	20.03.2018 15:03	4842	100,0	13,68	0,482	
[4] 1.	20.03.2018 15:24	8457	100,0	14,29	0,460	
[5] 1.	20.03.2018 15:43	15078	100,0	14,74	0,446	
[6] 1.	20.03.2018 16:10	33696	100,0	15,40	0,431	
[7] 1.	20.03.2018 17:10	94317	100,0	16,60	0,400	
[8] 1.	21.03.2018 09:01	184941	100,0	17,88	0,370	



PWS-Kalibrierung

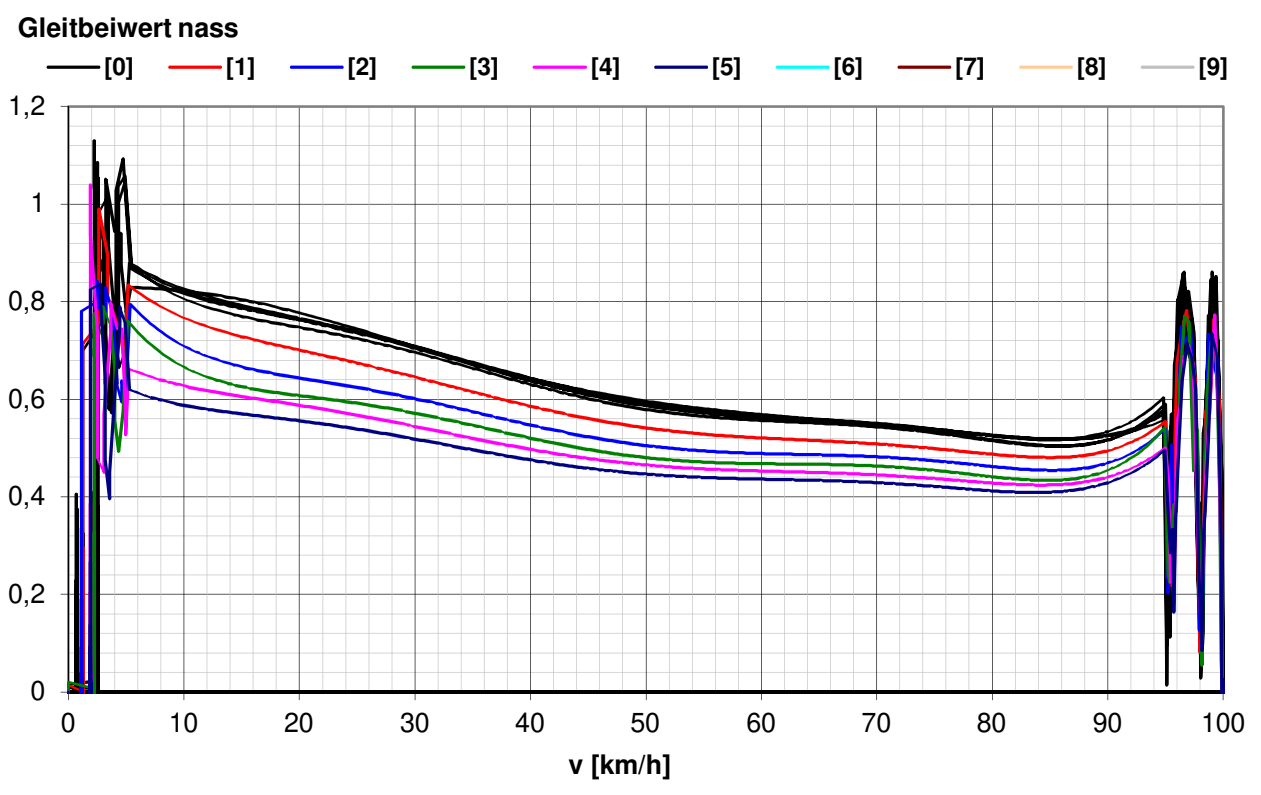
Probe	Ergebnis	Bemerkung





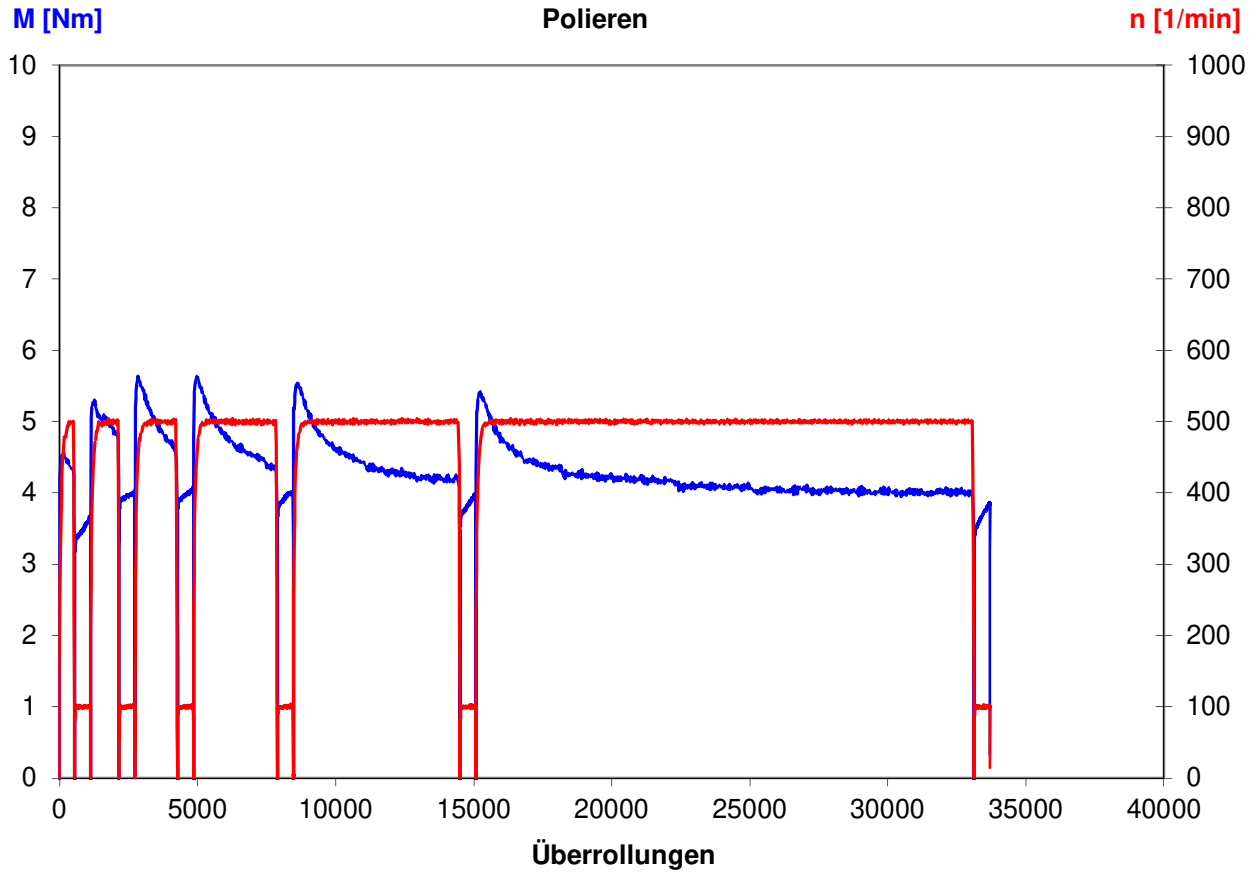
51_3

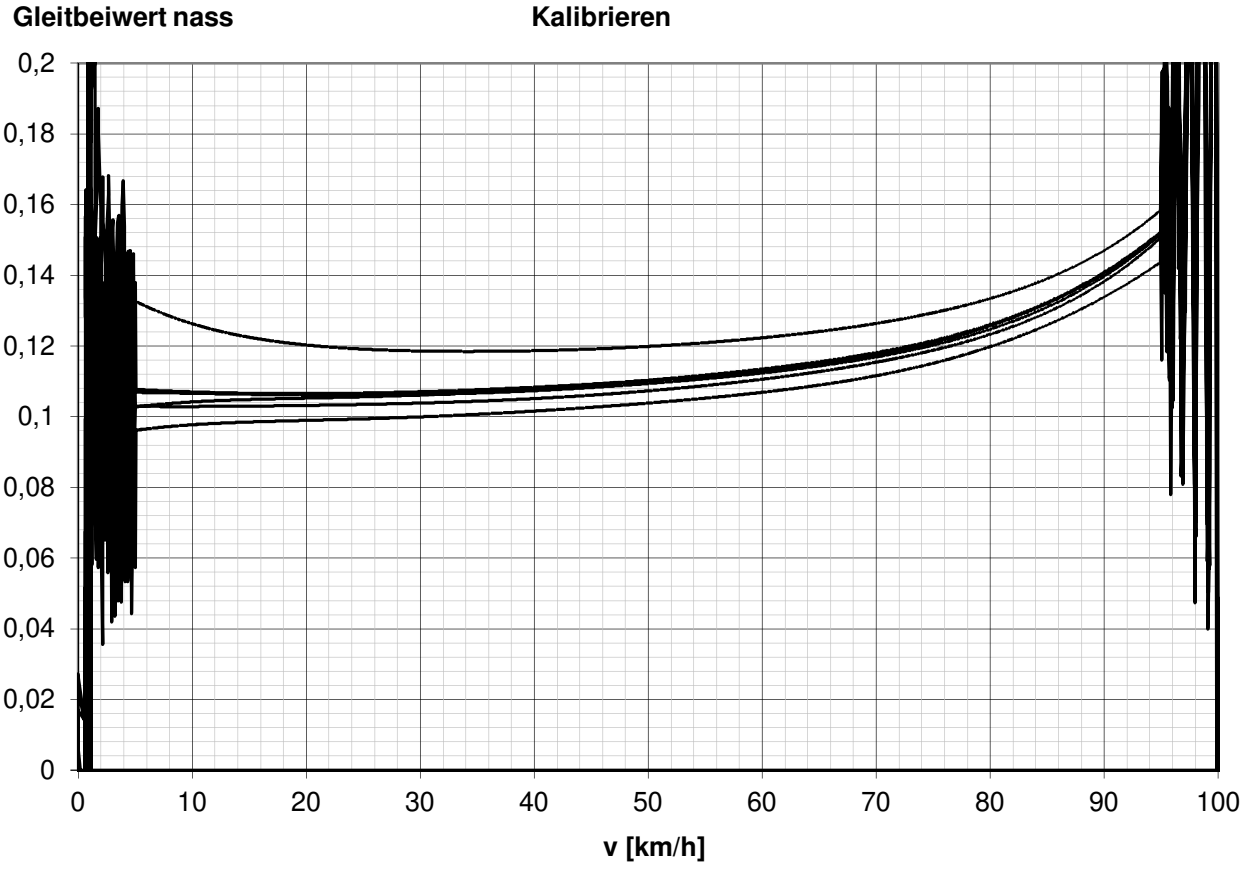
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	19.03.2018 10:55	0	100,0	50,95	0,122	
KAL 2.	19.03.2018 11:33	0	100,0	57,83	0,113	
KAL 3.	19.03.2018 12:05	0	100,0	59,23	0,113	
KAL 4.	19.03.2018 12:34	0	100,0	59,16	0,112	
KAL 5.	19.03.2018 13:21	0	100,0	60,44	0,111	
KAL 6.	19.03.2018 14:41	4842	100,0	58,59	0,107	
[0] 1.	19.03.2018 11:06	0	100,0	11,56	0,557	
[0] 2.	19.03.2018 11:43	0	100,0	11,48	0,562	
[0] 3.	19.03.2018 12:14	0	100,0	11,39	0,568	
[0] 4.	19.03.2018 12:43	0	100,0	11,38	0,565	
[0] 5.	19.03.2018 13:30	0	100,0	11,48	0,565	
[1] 1.	19.03.2018 14:11	1116	100,0	12,36	0,521	
[2] 1.	19.03.2018 14:29	2727	100,0	13,16	0,489	
[3] 1.	19.03.2018 14:47	4842	100,0	13,85	0,468	
[4] 1.	19.03.2018 15:04	8460	100,0	14,38	0,453	
[5] 1.	19.03.2018 15:24	15078	100,0	15,01	0,436	



PWS-Kalibrierung

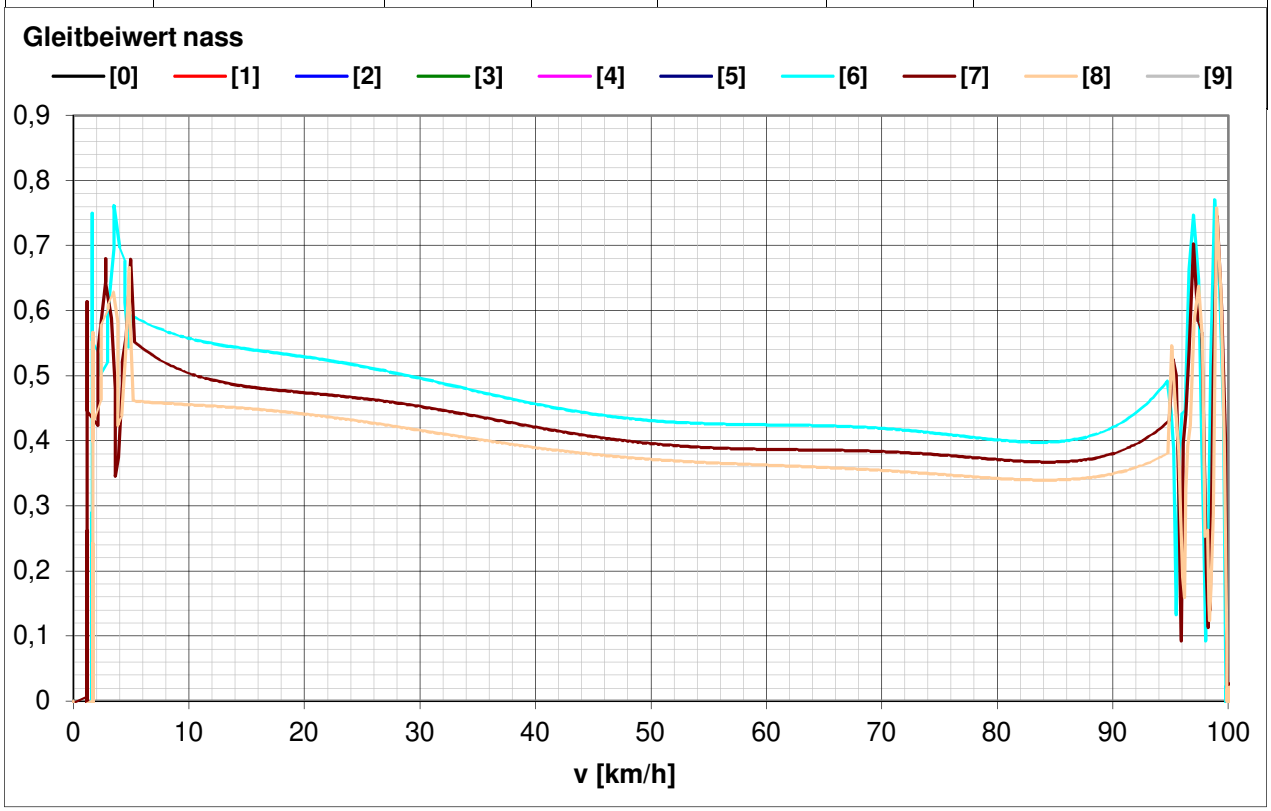
Probe	Ergebnis	Bemerkung





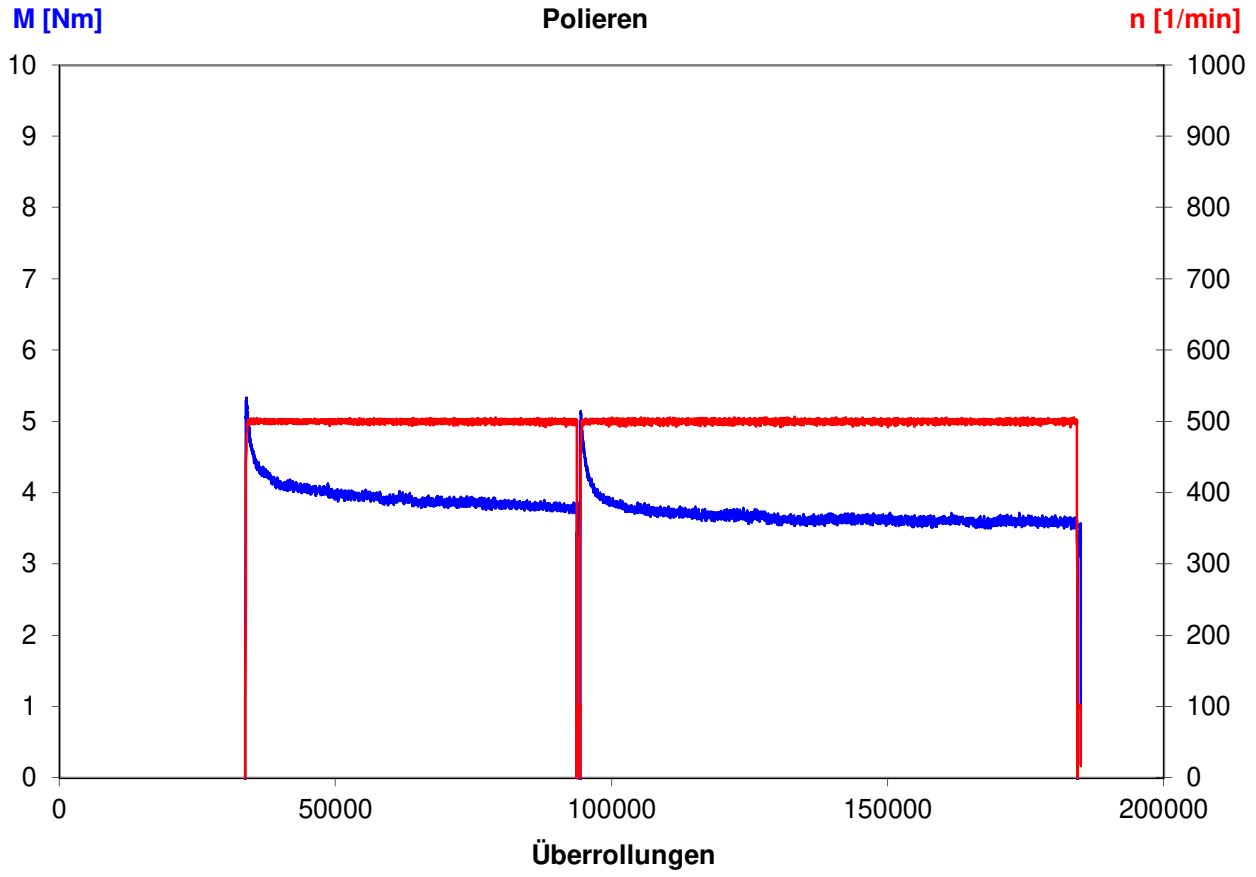
51-3

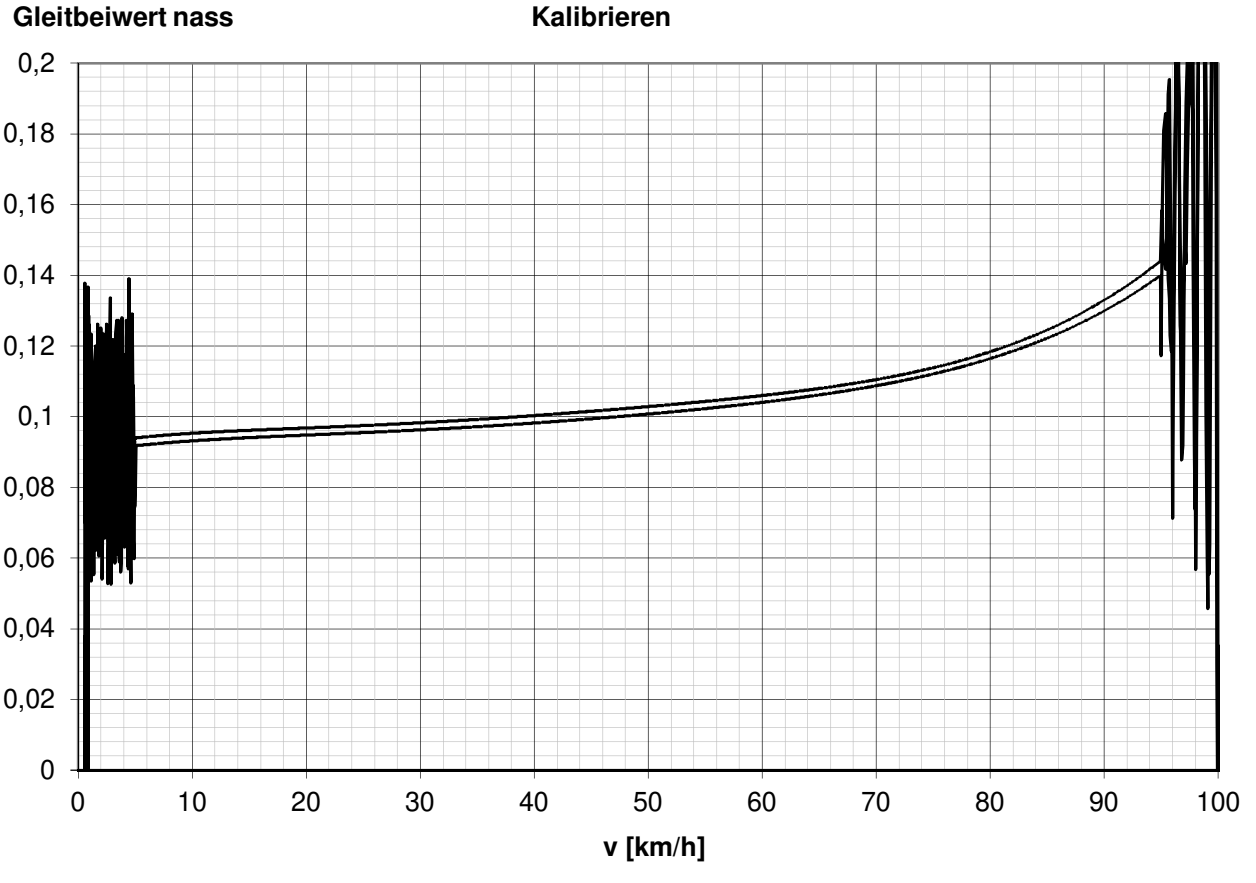
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	19.03.2018 15:50	33702	100,0	59,09	0,106	
KAL 2.	20.03.2018 09:16	184950	100,0	59,42	0,104	
[6] 1.	19.03.2018 15:58	33702	100,0	15,54	0,424	
[7] 1.	19.03.2018 16:55	94326	100,0	16,96	0,387	
[8] 1.	20.03.2018 09:26	184950	100,0	18,13	0,363	



PWS-Kalibrierung

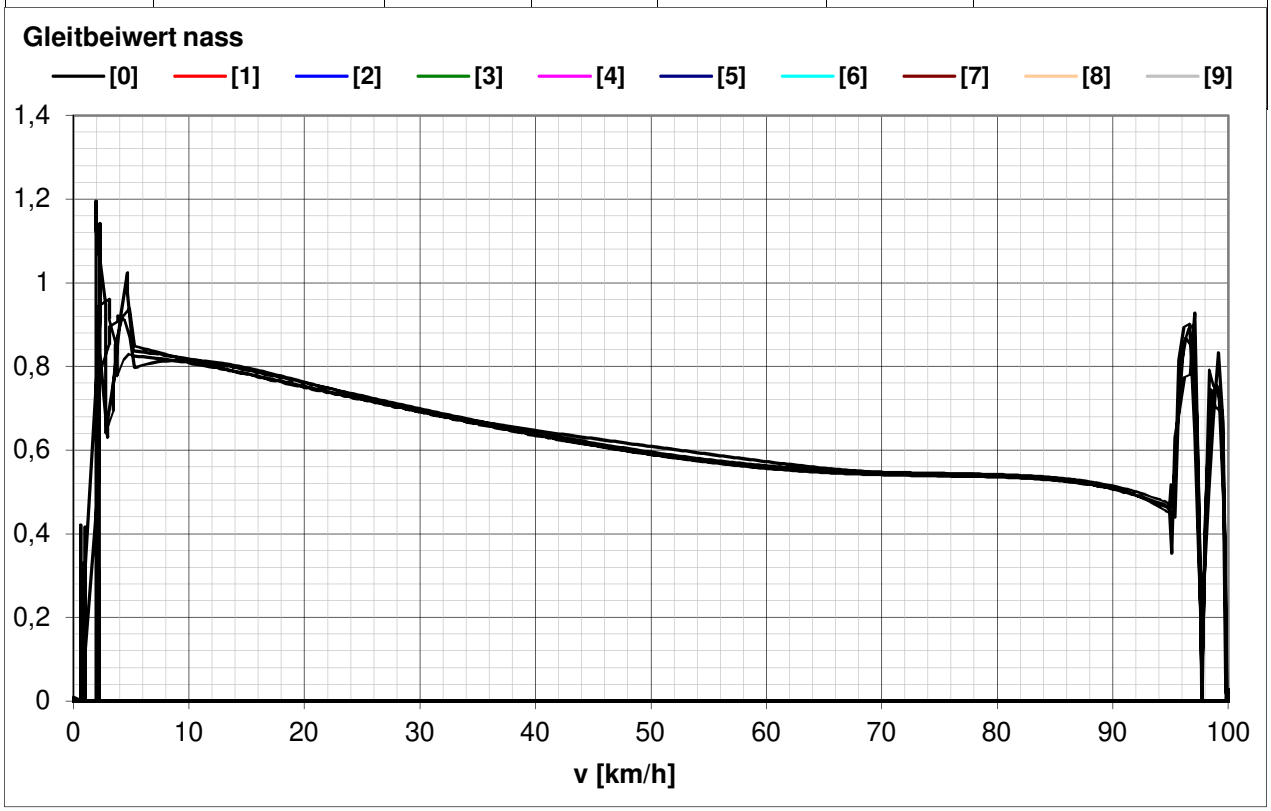
Probe	Ergebnis	Bemerkung





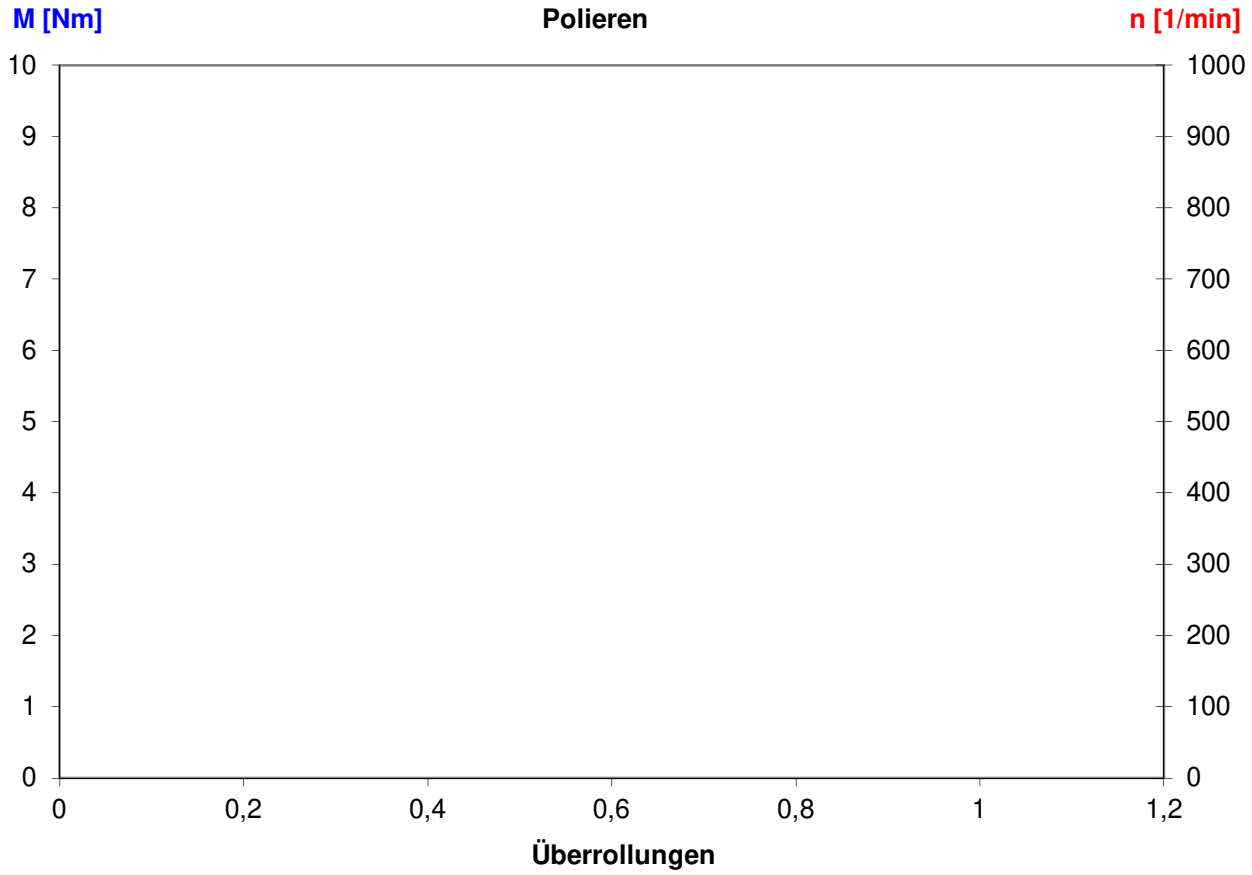
51-4

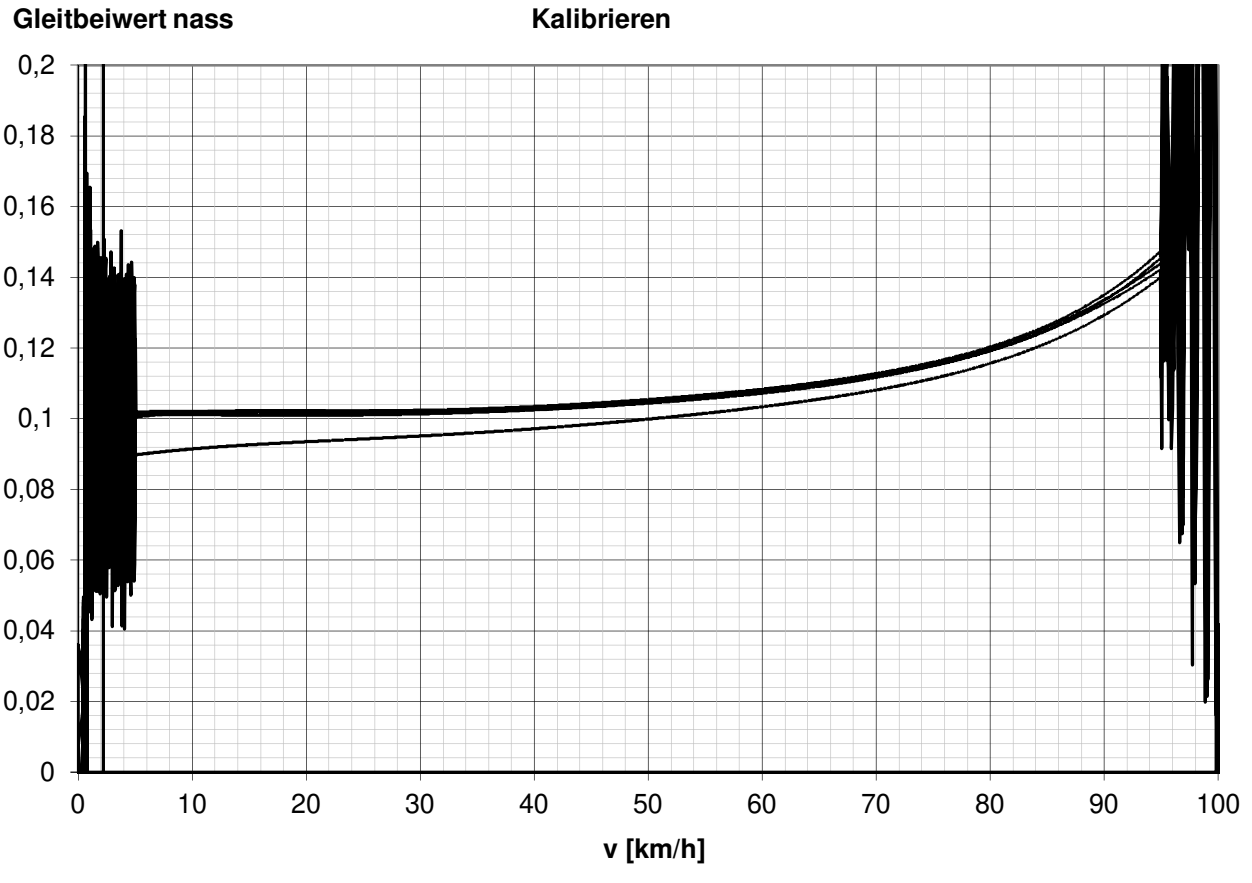
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	21.03.2018 09:43	0	100,0	59,67	0,103	
KAL 2.	21.03.2018 10:09	0	100,0	57,90	0,107	
KAL 3.	21.03.2018 10:39	0	100,0	57,97	0,108	
KAL 4.	21.03.2018 11:21	0	100,0	57,81	0,108	
KAL 5.	21.03.2018 12:02	0	100,0	56,53	0,108	
[0] 1.	21.03.2018 09:50	0	100,0	11,21	0,572	
[0] 2.	21.03.2018 10:18	0	100,0	11,38	0,563	
[0] 3.	21.03.2018 10:48	0	100,0	11,51	0,556	
[0] 4.	21.03.2018 11:35	0	100,0	11,36	0,561	
[0] 5.	21.03.2018 12:10	0	100,0	11,43	0,560	



PWS-Kalibrierung

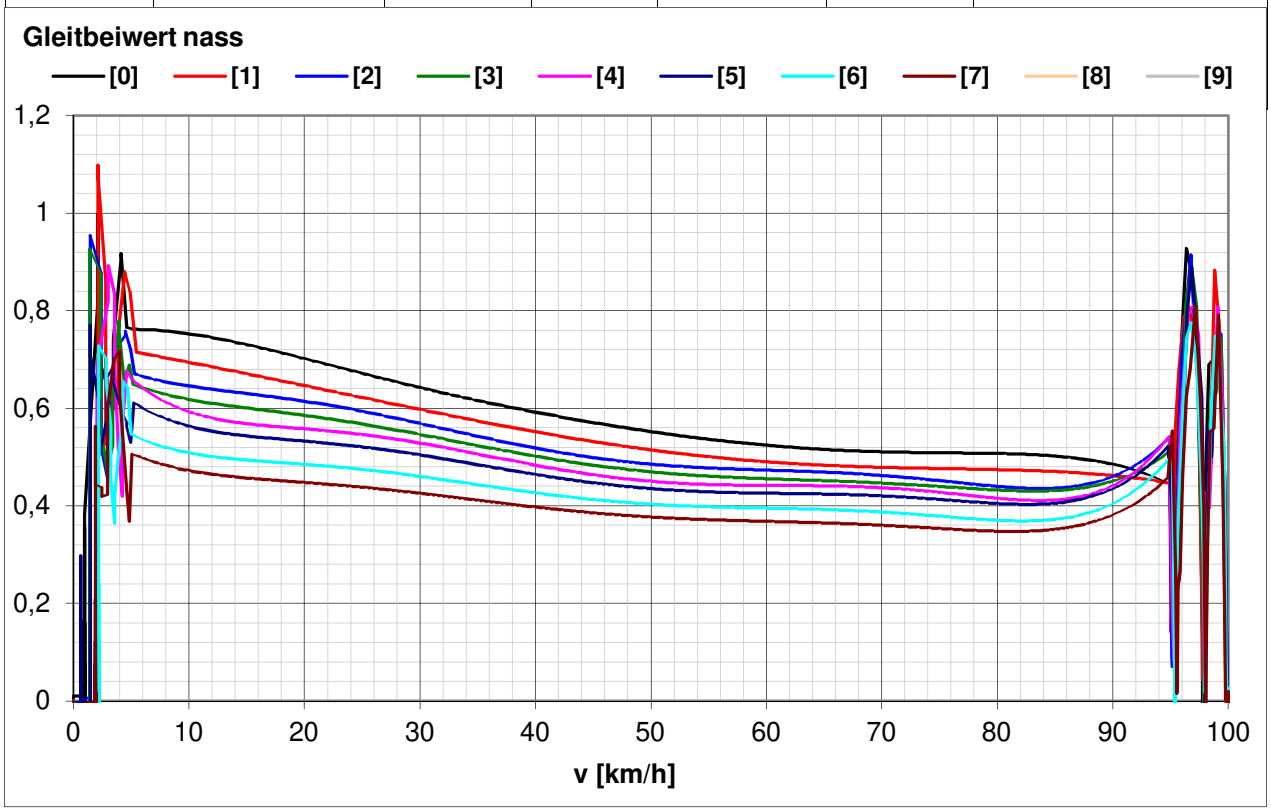
Probe	Ergebnis	Bemerkung





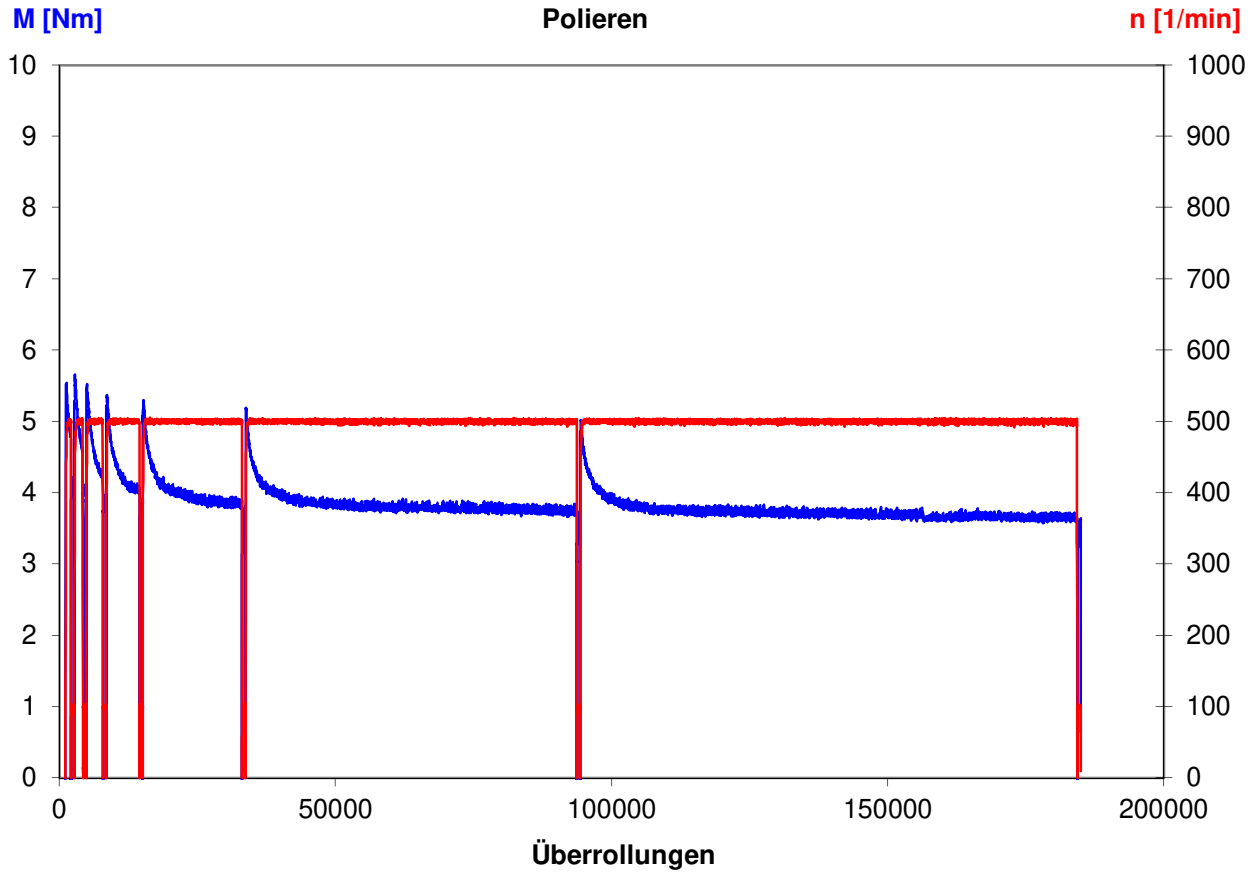
51_4

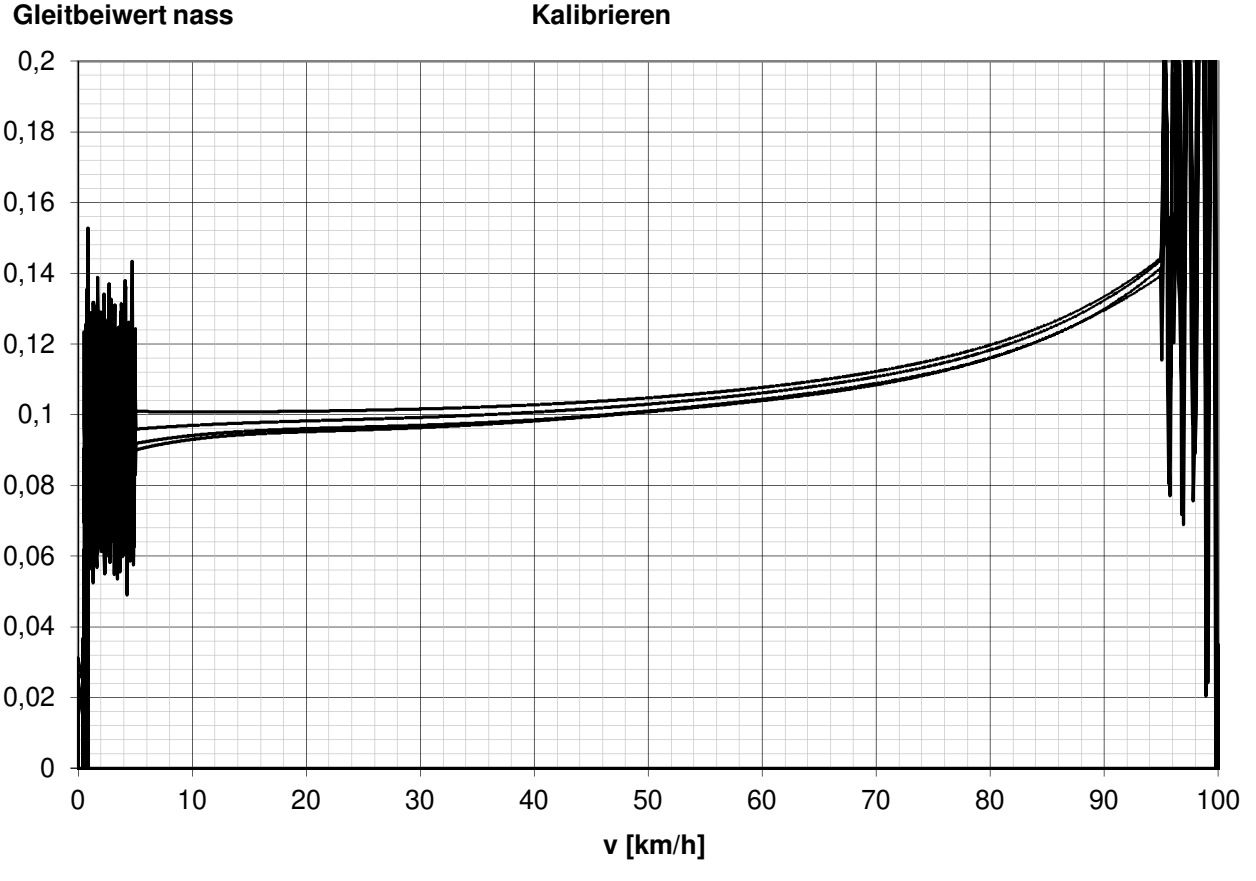
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	21.03.2018 12:30	1116	100,0	57,14	0,108	
KAL 2.	21.03.2018 13:22	8466	100,0	59,06	0,106	
KAL 3.	21.03.2018 15:08	94326	100,0	59,57	0,104	
KAL 4.	21.03.2018 16:28	184950	100,0	59,12	0,104	
[0] 1.	21.03.2018 12:39	1116	100,0	12,23	0,524	
[1] 1.	21.03.2018 12:54	2730	100,0	13,10	0,490	
[2] 1.	21.03.2018 13:10	4848	100,0	13,83	0,473	
[3] 1.	21.03.2018 13:30	8466	100,0	14,29	0,455	
[4] 1.	21.03.2018 13:49	15084	100,0	14,81	0,442	
[5] 1.	21.03.2018 14:18	33702	100,0	15,38	0,426	
[6] 1.	21.03.2018 15:17	94326	100,0	16,57	0,395	
[7] 1.	21.03.2018 16:36	184950	100,0	17,68	0,368	



PWS-Kalibrierung

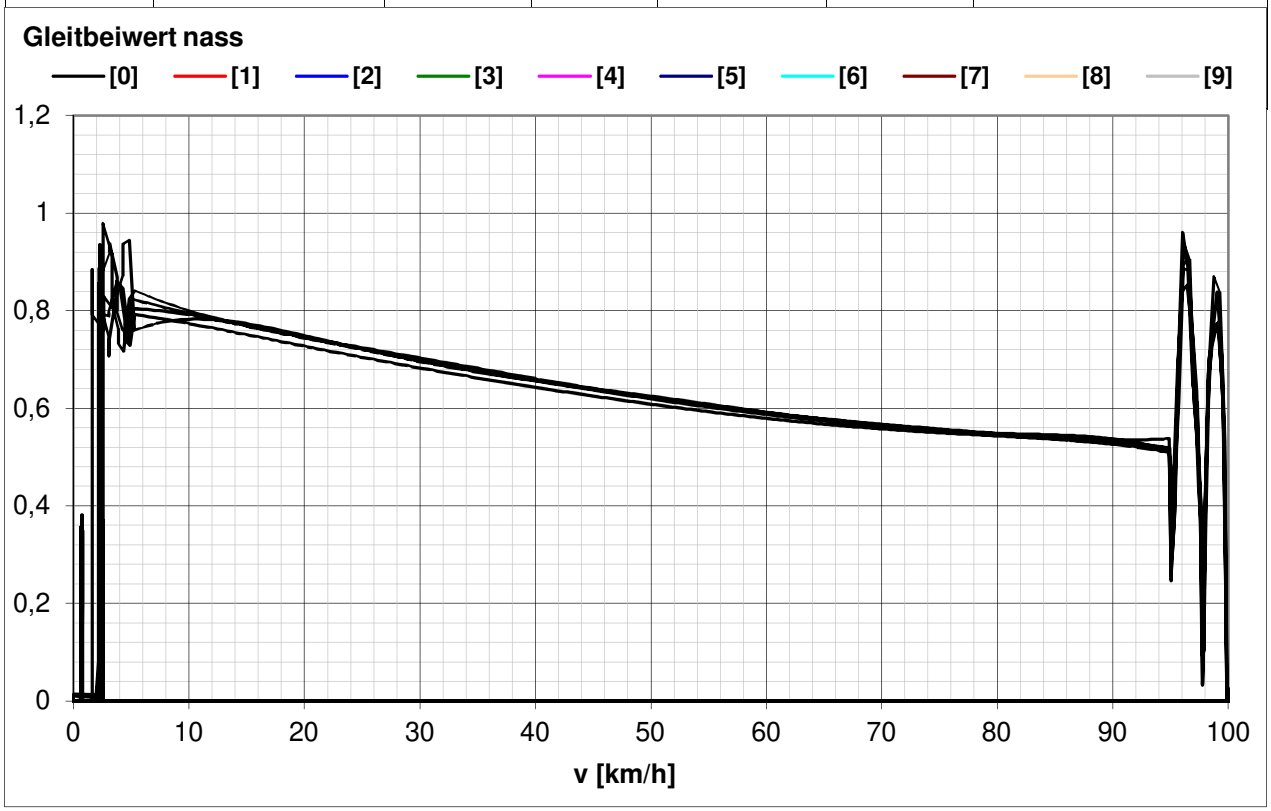
Probe	Ergebnis	Bemerkung





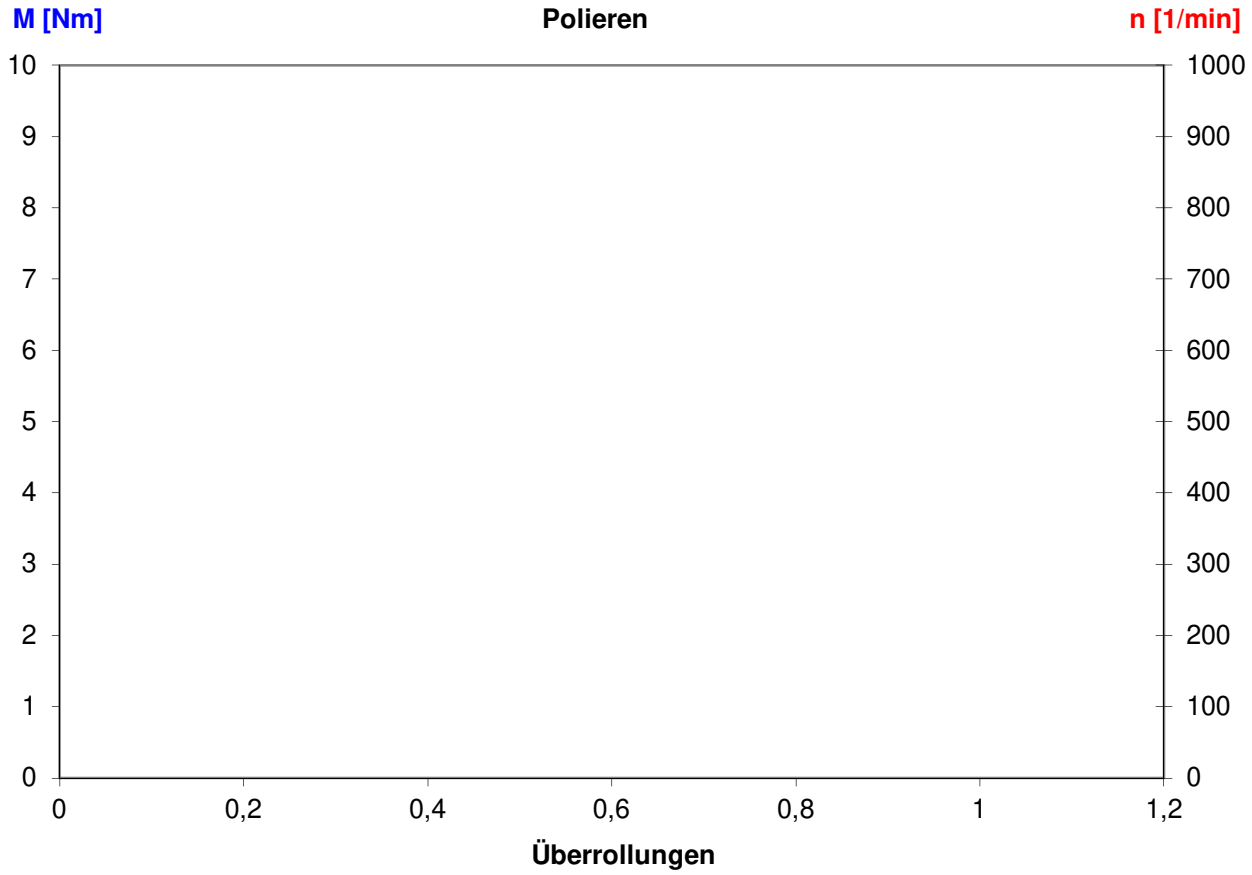
67_2

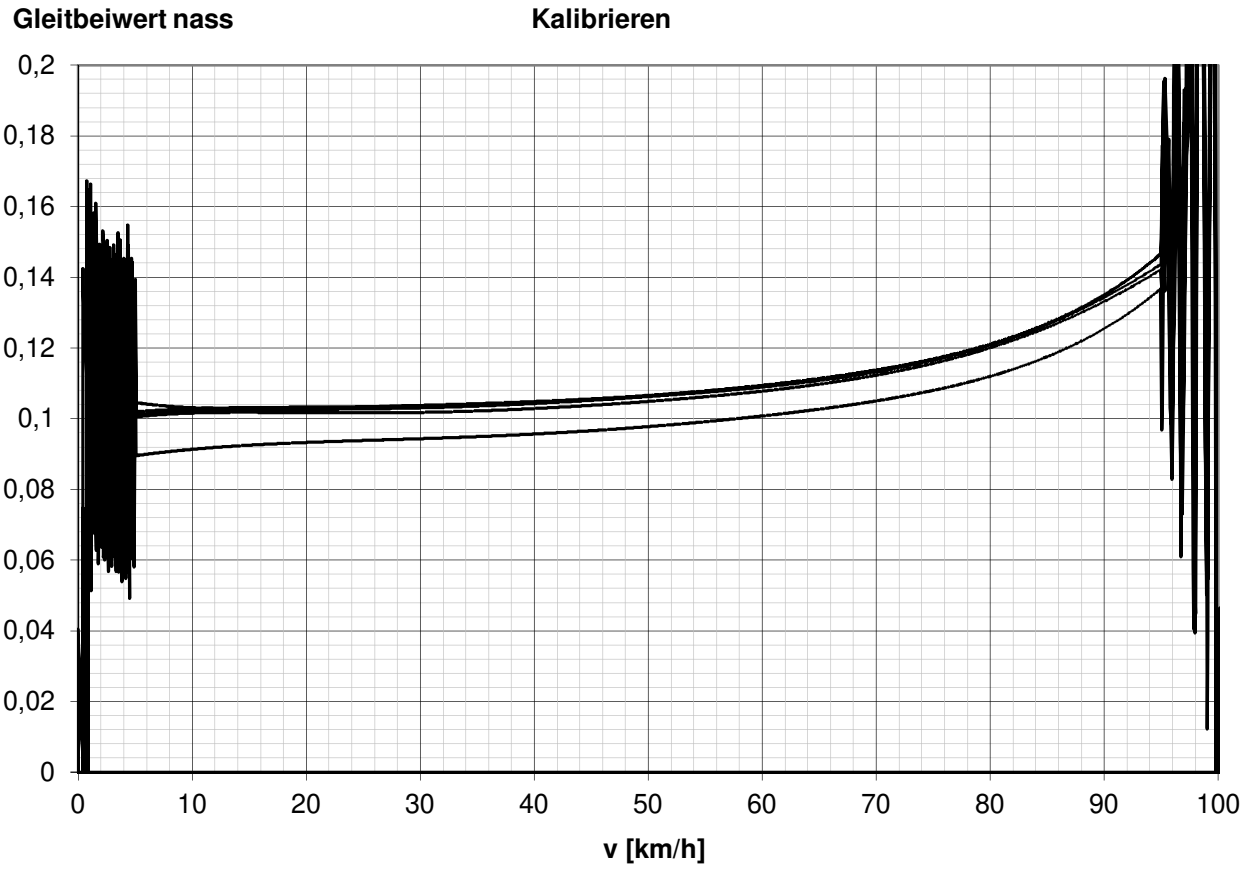
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	28.03.2018 07:57	0	100,0	61,44	0,101	
KAL 2.	28.03.2018 08:26	0	100,0	58,11	0,108	
KAL 3.	28.03.2018 08:55	0	100,0	57,49	0,109	
KAL 4.	28.03.2018 09:24	0	100,0	57,57	0,109	
KAL 5.	28.03.2018 09:55	0	100,0	57,69	0,109	
[0] 1.	28.03.2018 08:06	0	100,0	11,34	0,579	
[0] 2.	28.03.2018 08:35	0	100,0	11,11	0,592	
[0] 3.	28.03.2018 09:04	0	100,0	11,13	0,591	
[0] 4.	28.03.2018 09:34	0	100,0	11,13	0,587	
[0] 5.	28.03.2018 10:04	0	100,0	11,07	0,590	



PWS-Kalibrierung

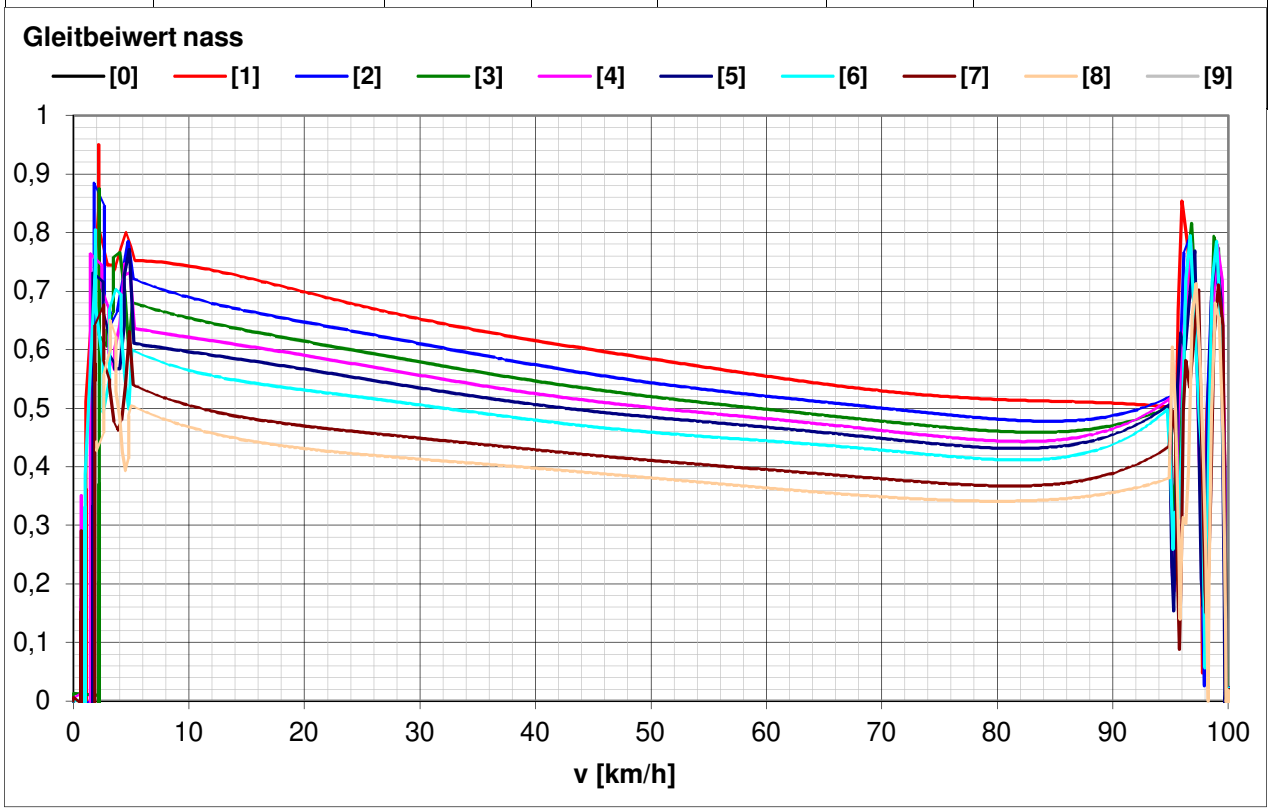
Probe	Ergebnis	Bemerkung





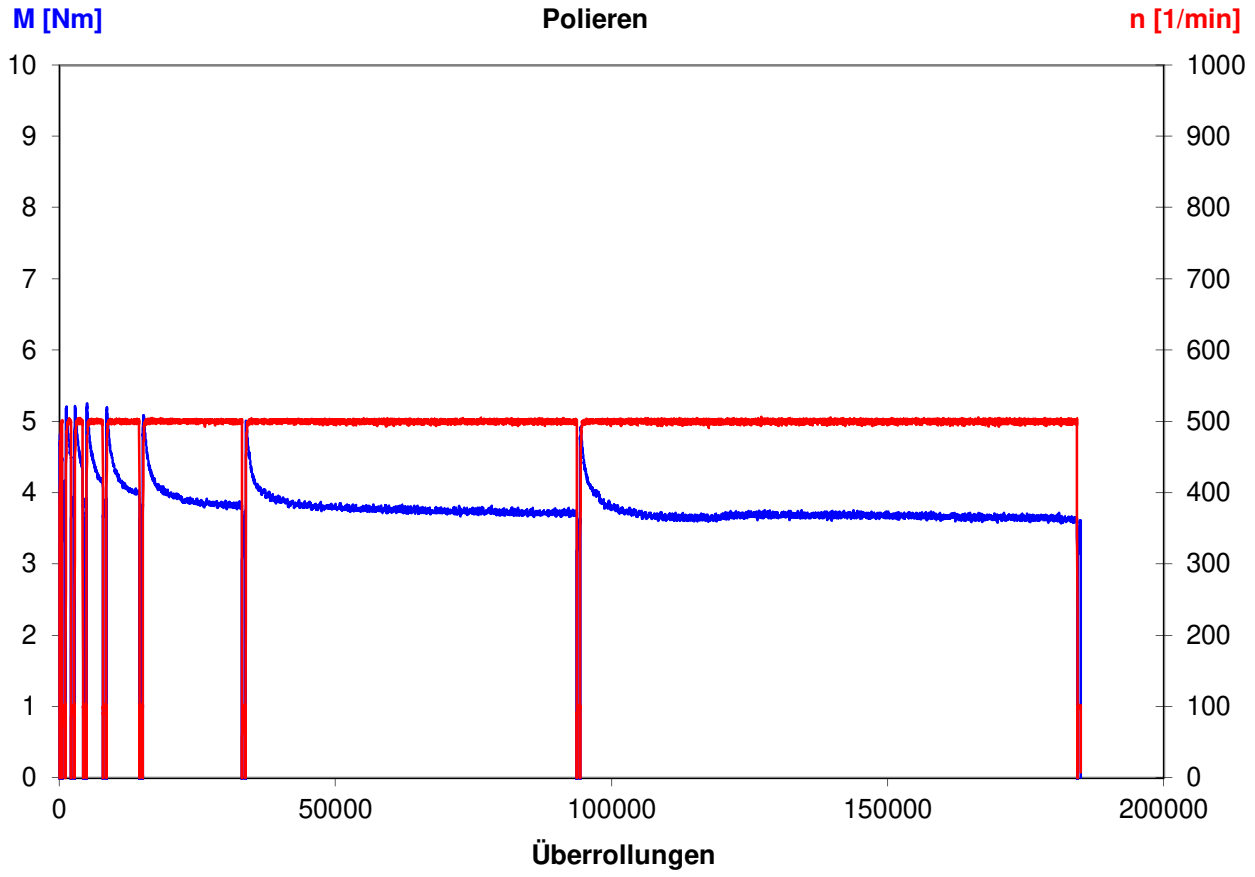
67_2

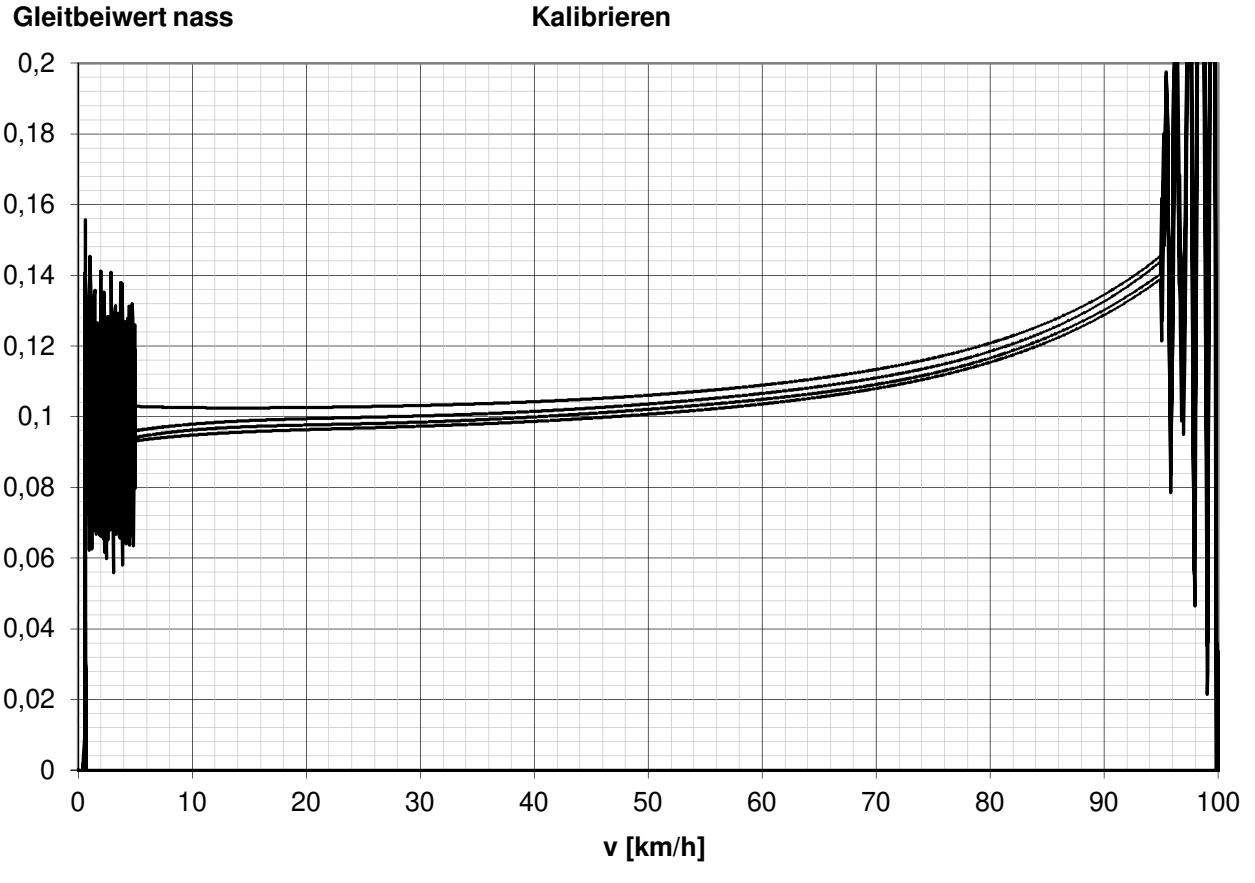
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	28.03.2018 10:18	1116	100,0	57,90	0,109	
KAL 2.	28.03.2018 11:13	8463	100,0	59,13	0,107	
KAL 3.	28.03.2018 12:59	94323	100,0	60,10	0,105	
KAL 4.	28.03.2018 14:17	184953	100,0	59,64	0,104	
[1] 1.	28.03.2018 10:29	1116	100,0	11,82	0,555	
[2] 1.	28.03.2018 10:45	2730	100,0	12,65	0,521	
[3] 1.	28.03.2018 11:02	4848	100,0	13,23	0,498	
[4] 1.	28.03.2018 11:23	8463	100,0	13,69	0,482	
[5] 1.	28.03.2018 11:42	15084	100,0	14,19	0,468	
[6] 1.	28.03.2018 12:09	33702	100,0	14,92	0,444	
[7] 1.	28.03.2018 13:07	94323	100,0	16,64	0,395	
[8] 1.	28.03.2018 14:25	184953	100,0	17,93	0,364	



PWS-Kalibrierung

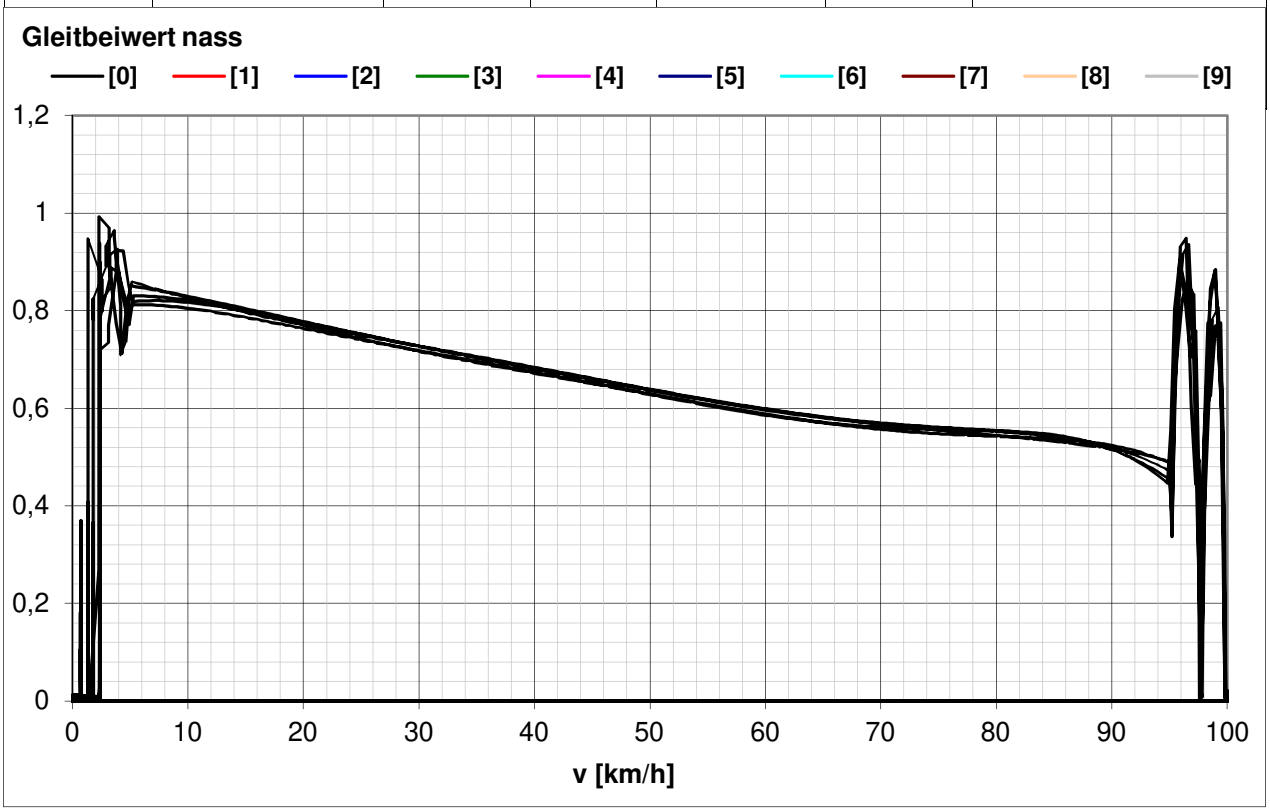
Probe	Ergebnis	Bemerkung





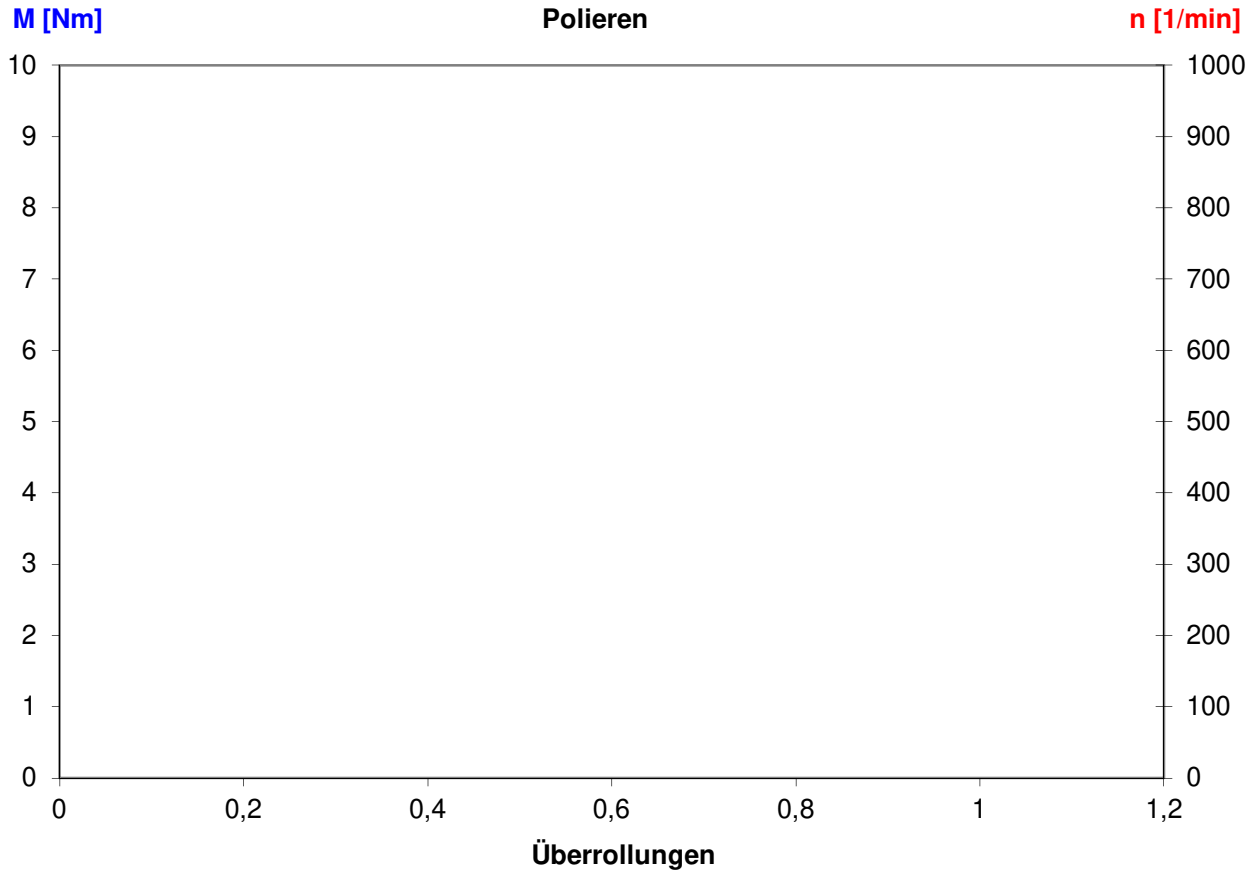
67_4

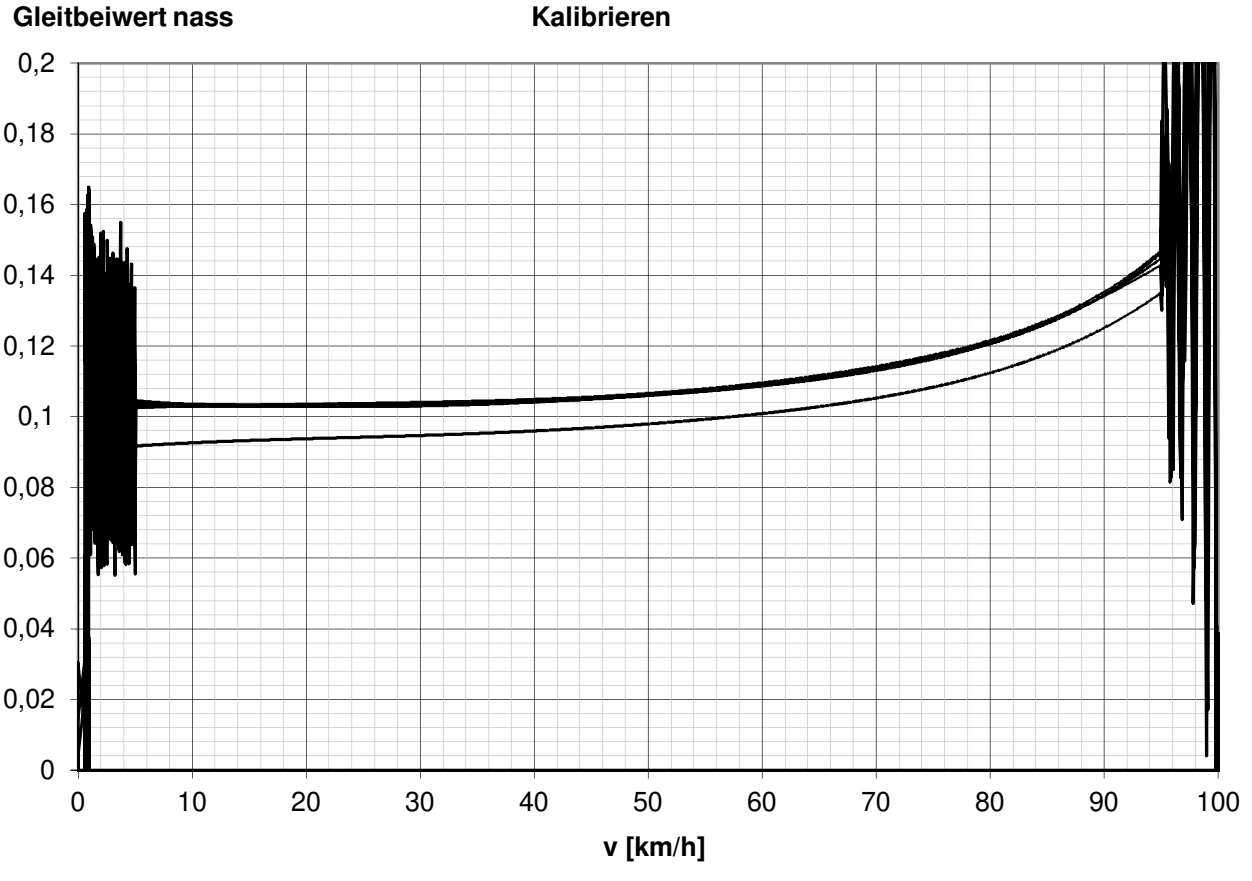
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	29.03.2018 07:51	0	100,0	61,34	0,101	
KAL 2.	29.03.2018 08:17	0	100,0	57,27	0,109	
KAL 3.	29.03.2018 08:43	0	100,0	56,97	0,110	
KAL 4.	29.03.2018 09:10	0	100,0	57,21	0,109	
KAL 5.	29.03.2018 09:40	0	100,0	56,98	0,109	
[0] 1.	29.03.2018 07:59	0	100,0	10,97	0,586	
[0] 2.	29.03.2018 08:25	0	100,0	10,83	0,598	
[0] 3.	29.03.2018 08:52	0	100,0	10,80	0,597	
[0] 4.	29.03.2018 09:19	0	100,0	10,83	0,598	
[0] 5.	29.03.2018 09:50	0	100,0	10,92	0,588	



PWS-Kalibrierung

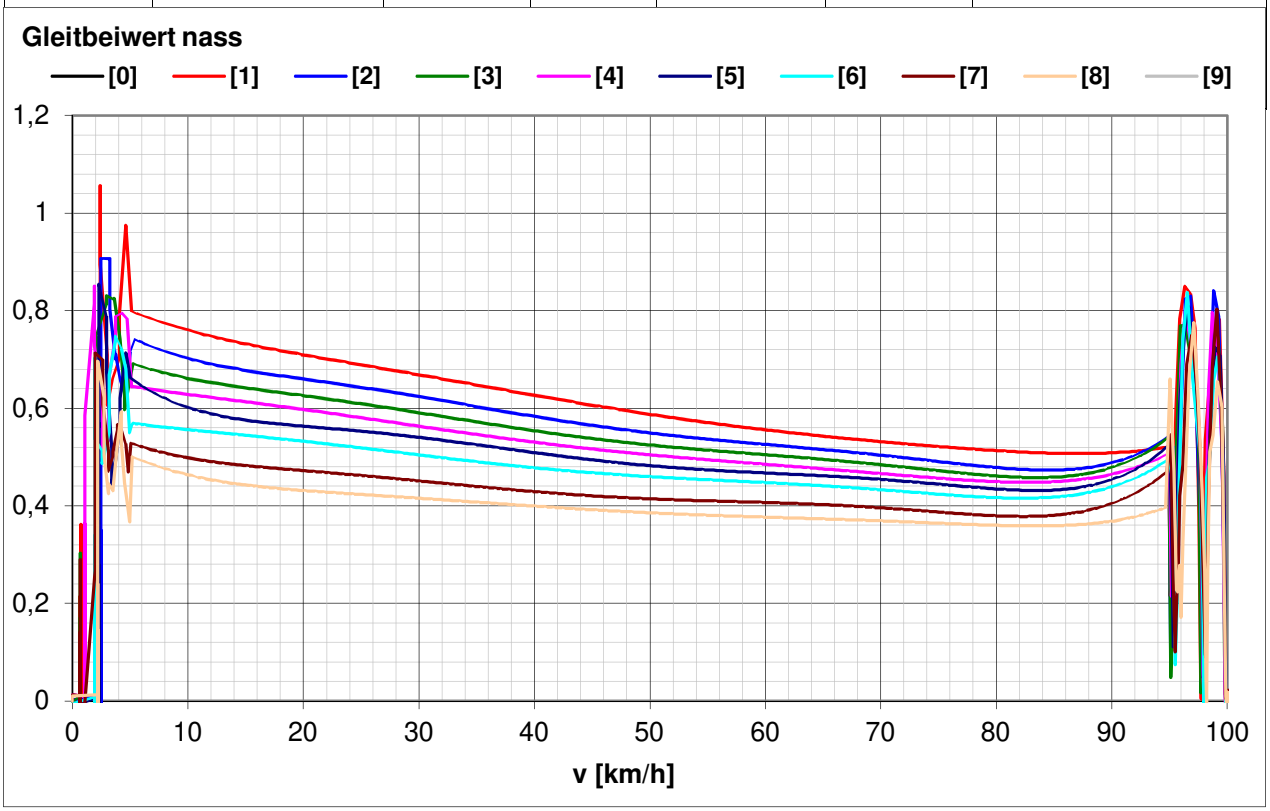
Probe	Ergebnis	Bemerkung





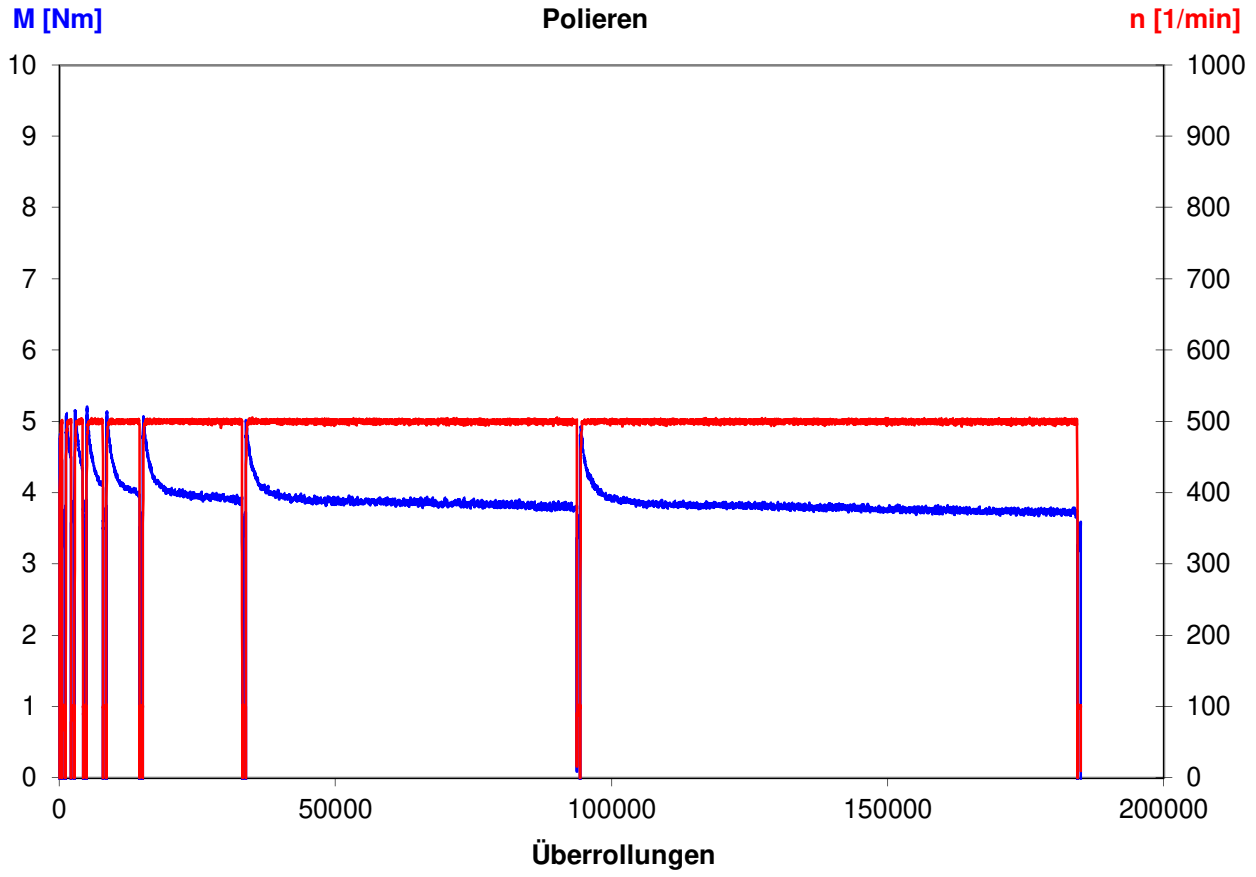
67_4

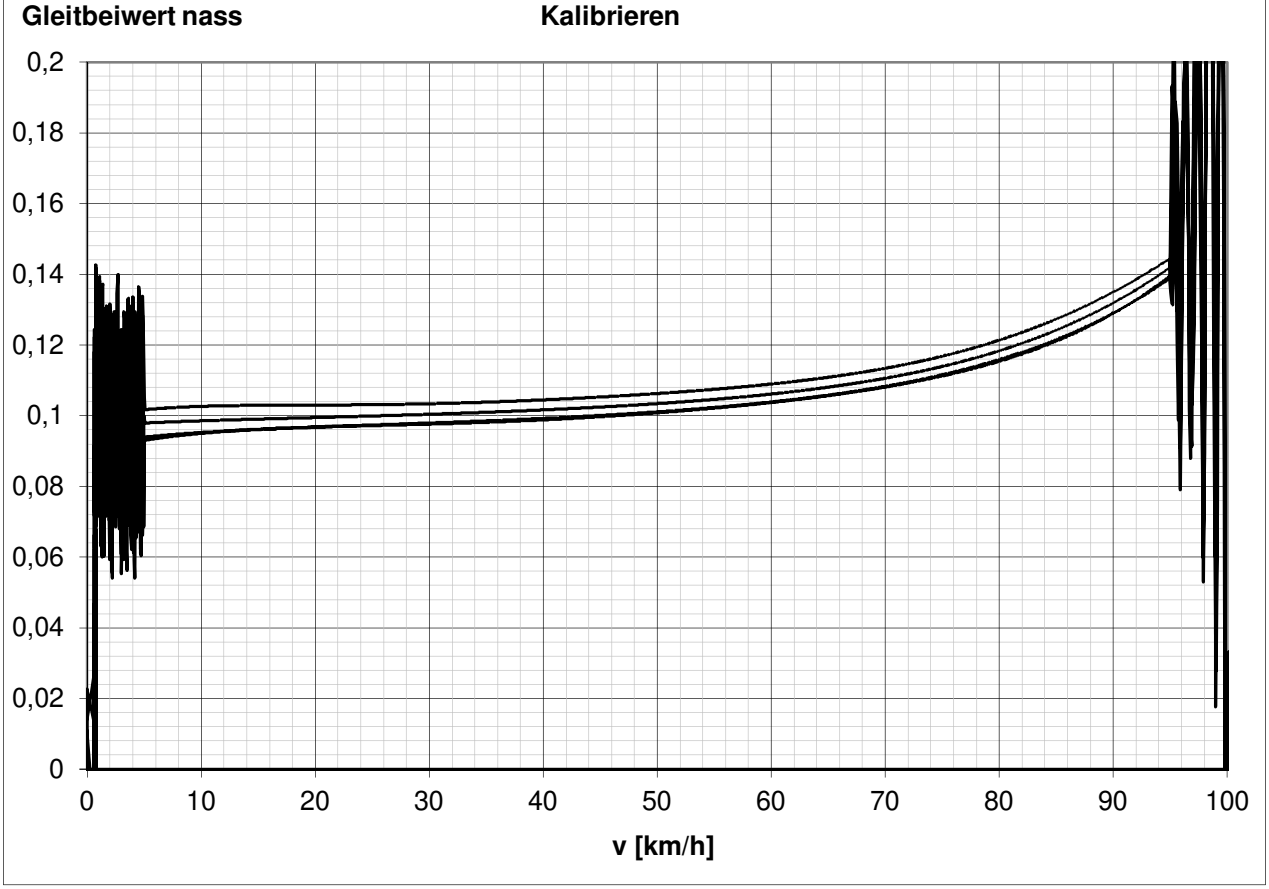
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	29.03.2018 10:04	1116	100,0	57,09	0,109	
KAL 2.	29.03.2018 10:56	8472	100,0	58,50	0,106	
KAL 3.	29.03.2018 12:42	94338	100,0	60,10	0,104	
KAL 4.	29.03.2018 14:00	184965	100,0	60,19	0,104	
[1] 1.	29.03.2018 10:12	1116	100,0	11,66	0,556	
[2] 1.	29.03.2018 10:28	2733	100,0	12,48	0,526	
[3] 1.	29.03.2018 10:44	4854	100,0	13,01	0,505	
[4] 1.	29.03.2018 11:06	8472	100,0	13,60	0,485	
[5] 1.	29.03.2018 11:25	15093	100,0	14,16	0,467	
[6] 1.	29.03.2018 11:51	33714	100,0	14,97	0,448	
[7] 1.	29.03.2018 12:50	94338	100,0	16,56	0,407	
[8] 1.	29.03.2018 14:10	184965	100,0	17,76	0,377	



PWS-Kalibrierung

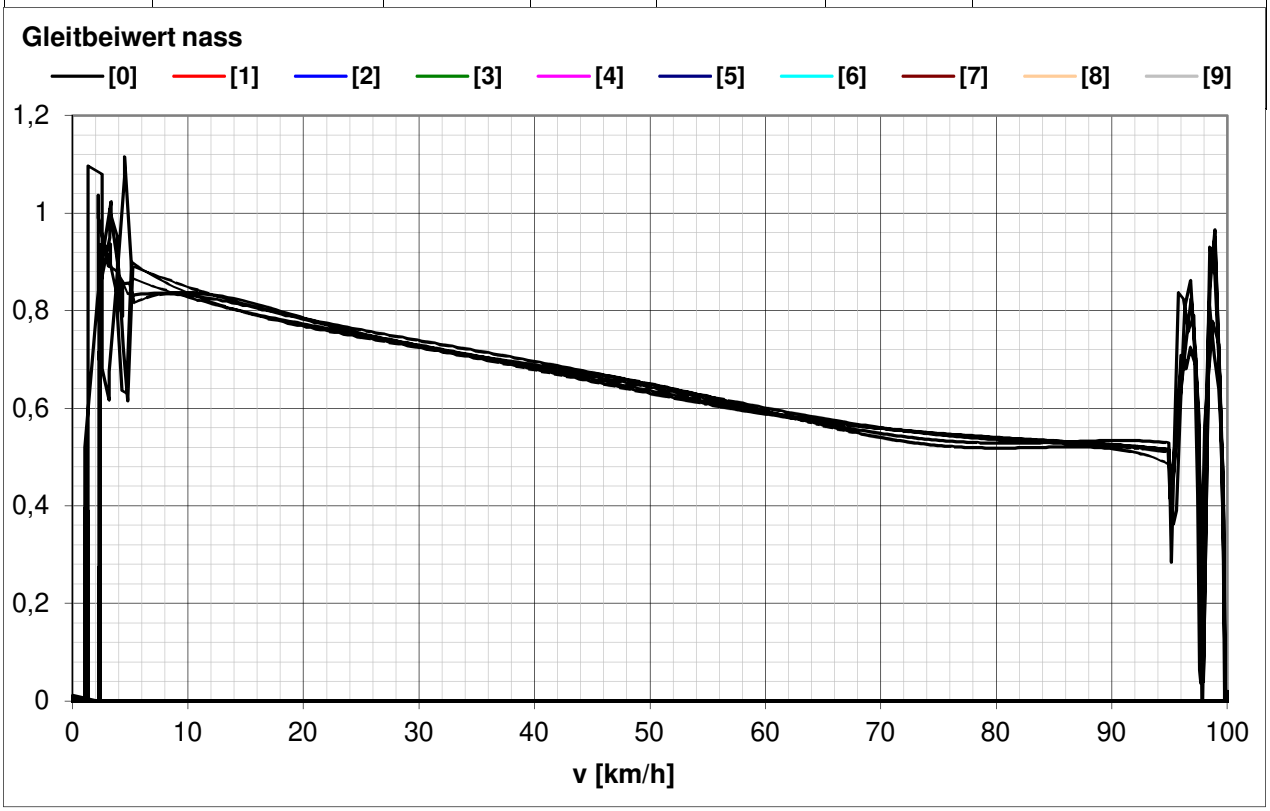
Probe	Ergebnis	Bemerkung





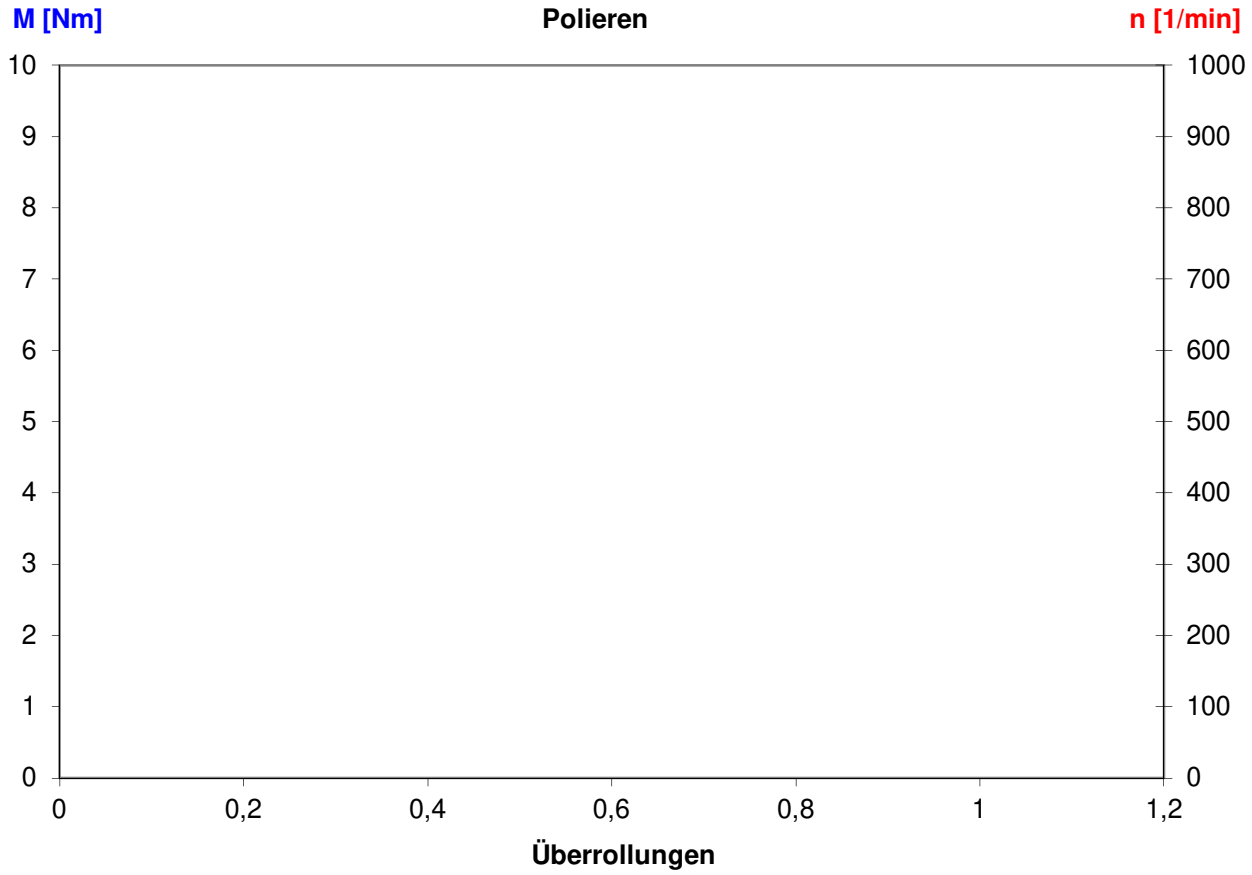
67a_2

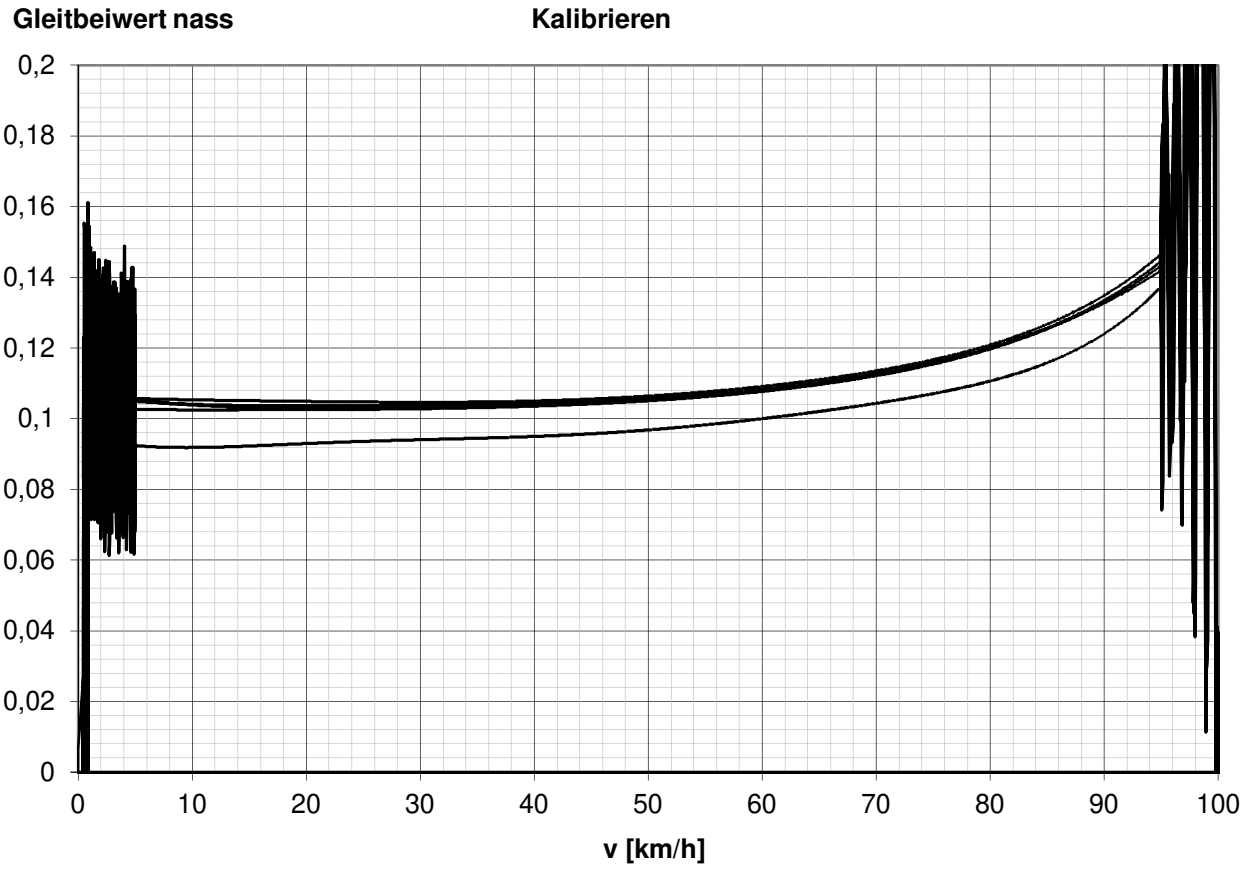
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	04.04.2018 07:55	0	100,0	61,92	0,100	
KAL 2.	04.04.2018 08:22	0	100,0	58,08	0,108	
KAL 3.	04.04.2018 08:48	0	100,0	58,68	0,109	
KAL 4.	04.04.2018 09:16	0	100,0	58,53	0,108	
KAL 5.	04.04.2018 09:45	0	100,0	59,52	0,108	
[0] 1.	04.04.2018 08:06	0	100,0	10,70	0,594	
[0] 2.	04.04.2018 08:31	0	100,0	10,65	0,600	
[0] 3.	04.04.2018 08:56	0	100,0	10,76	0,593	
[0] 4.	04.04.2018 09:24	0	100,0	10,84	0,592	
[0] 5.	04.04.2018 09:53	0	100,0	10,92	0,588	



PWS-Kalibrierung

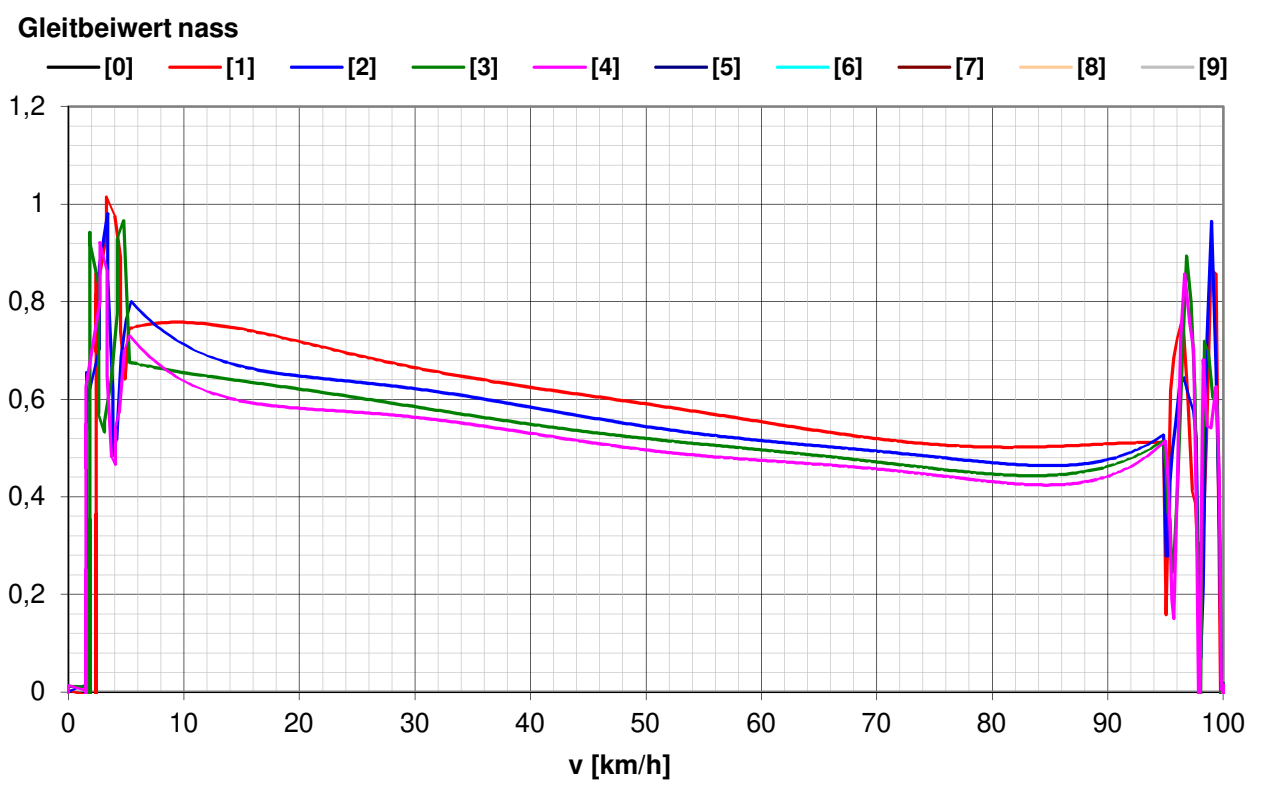
Probe	Ergebnis	Bemerkung





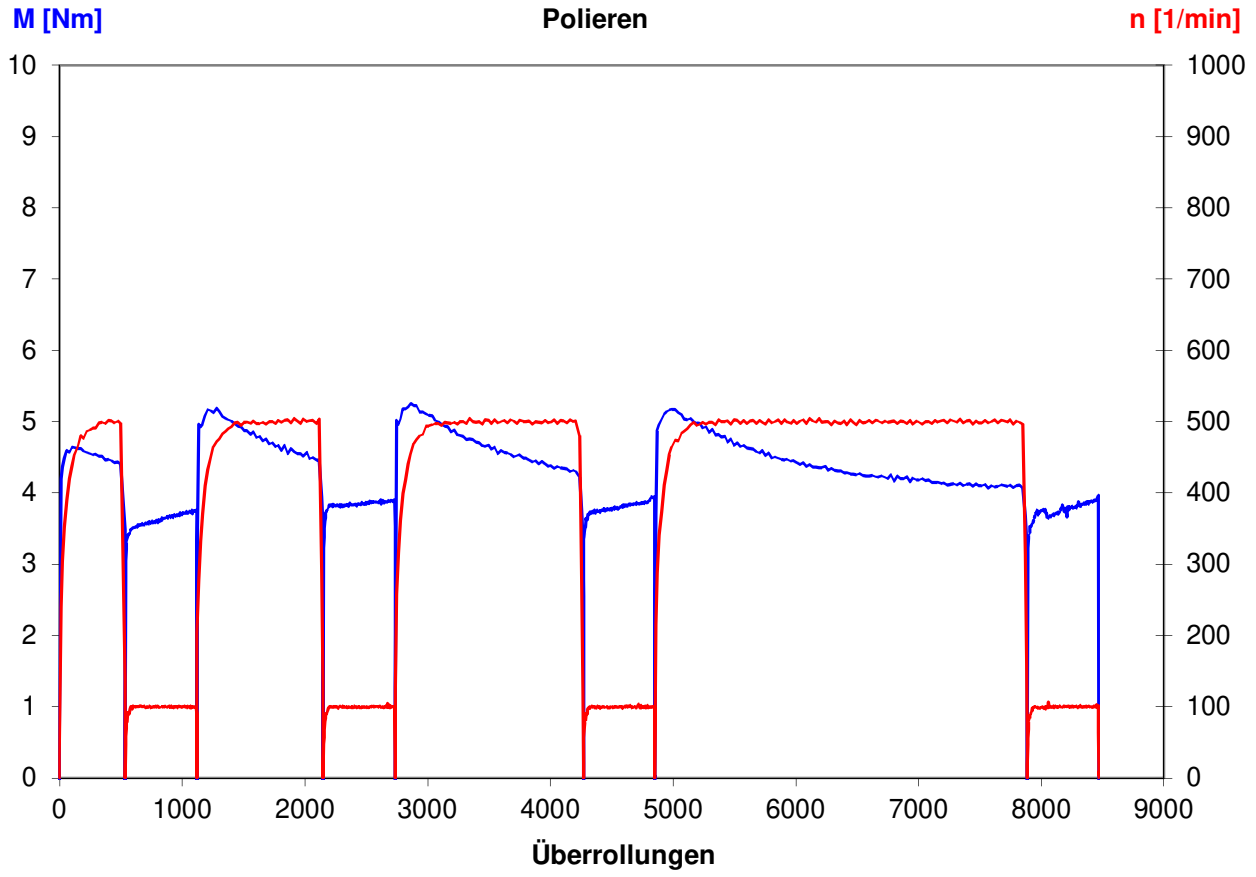
67a_2

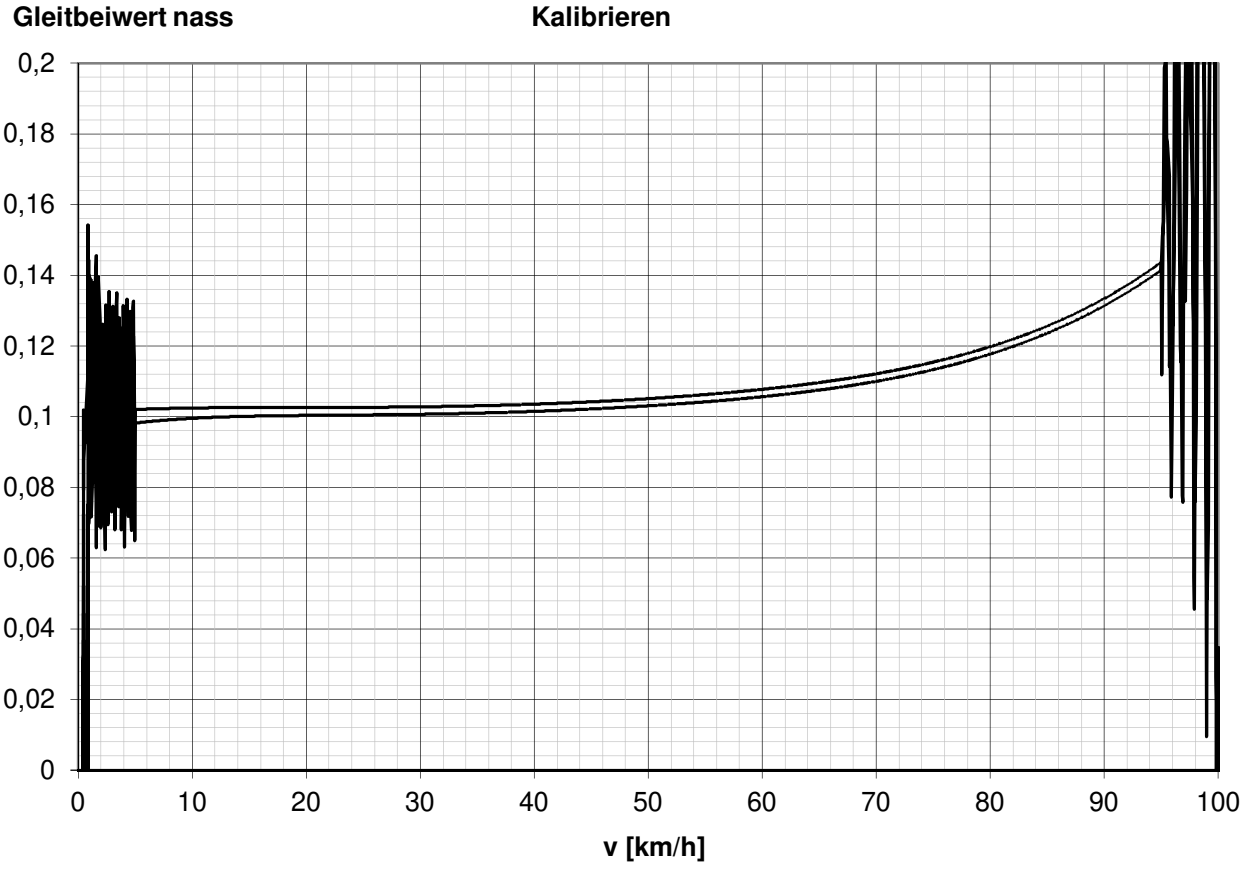
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	04.04.2018 10:08	1116	100,0	58,74	0,108	
KAL 2.	04.04.2018 10:57	8469	100,0	59,38	0,106	
[1] 1.	04.04.2018 10:16	1116	100,0	11,72	0,554	
[2] 1.	04.04.2018 10:30	2733	100,0	12,58	0,515	
[3] 1.	04.04.2018 10:45	4851	100,0	13,23	0,496	
[4] 1.	04.04.2018 11:08	8469	100,0	13,78	0,475	Unterbrechung wegen Lagerschaden



PWS-Kalibrierung

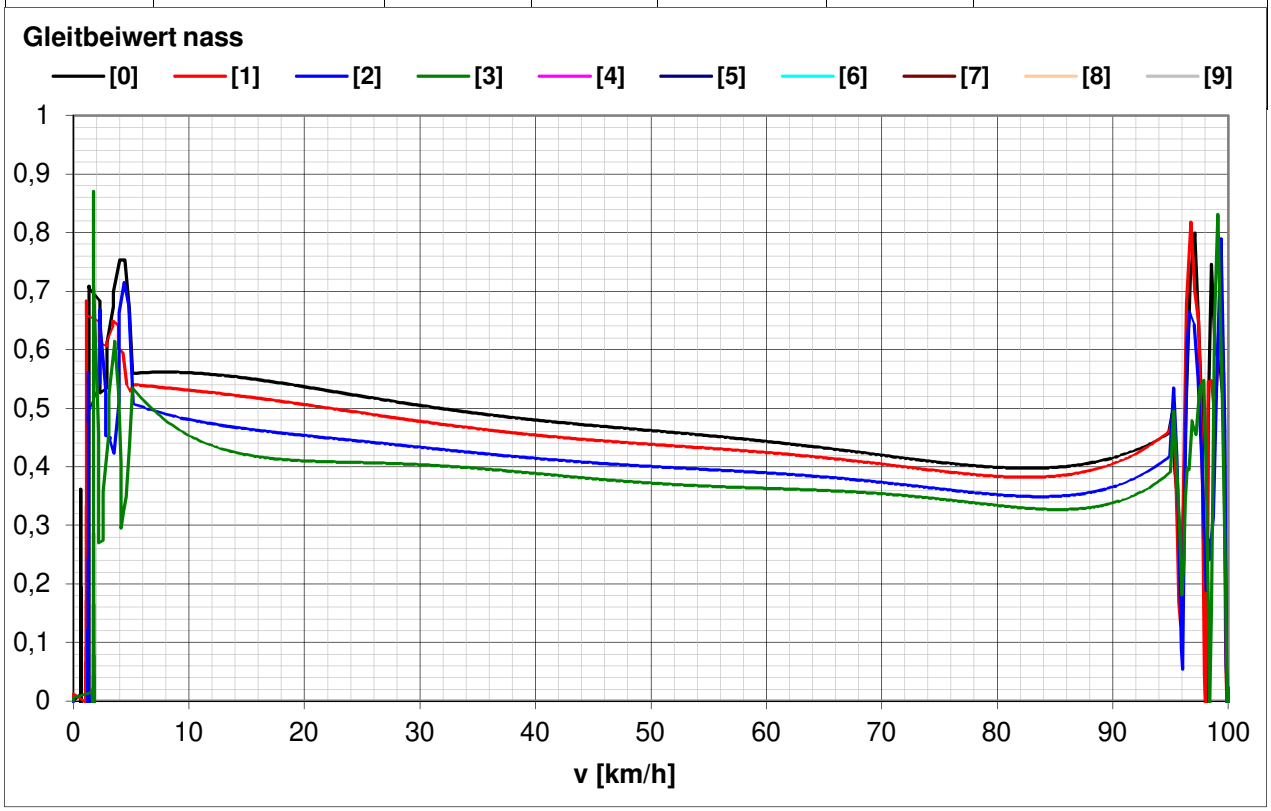
Probe	Ergebnis	Bemerkung





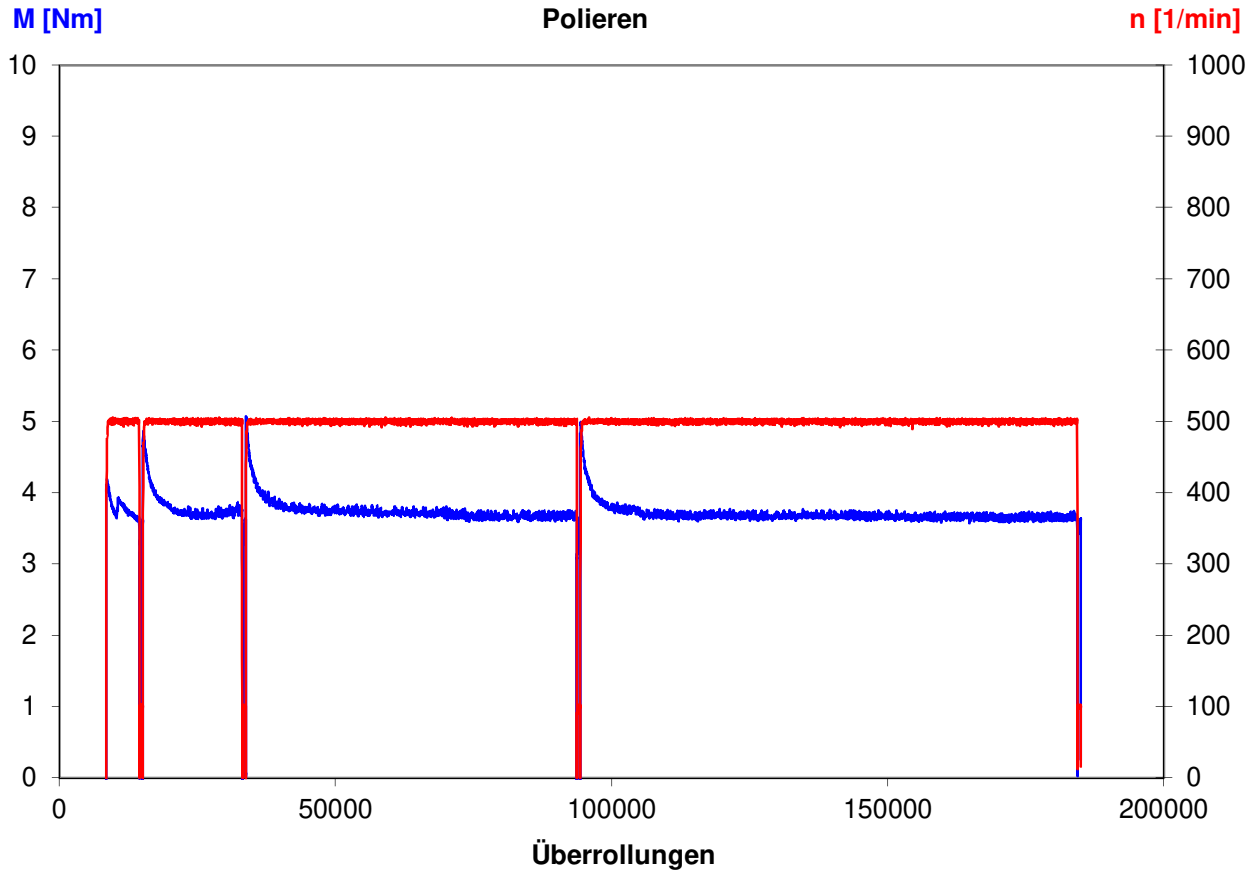
67a_2

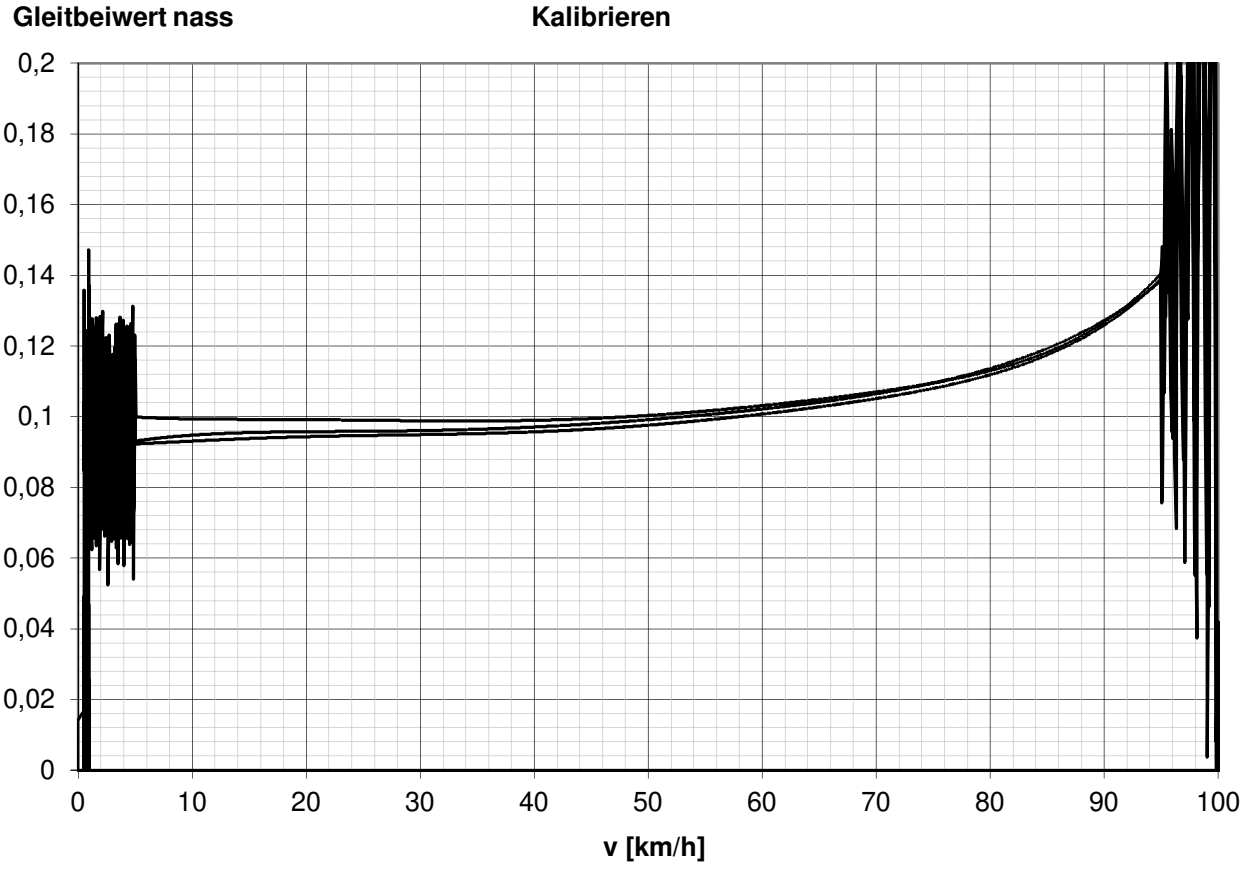
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	12.04.2018 13:03	15090	100,0	60,75	0,103	
KAL 2.	12.04.2018 14:26	94338	100,0	65,81	0,102	
KAL 3.	12.04.2018 15:47	184965	100,0	66,93	0,101	
[0] 1.	12.04.2018 13:10	15090	100,0	15,06	0,443	
[1] 1.	12.04.2018 13:37	33711	100,0	15,92	0,424	
[2] 1.	12.04.2018 14:34	94338	100,0	17,56	0,389	
[3] 1.	12.04.2018 15:55	184965	100,0	18,76	0,363	



PWS-Kalibrierung

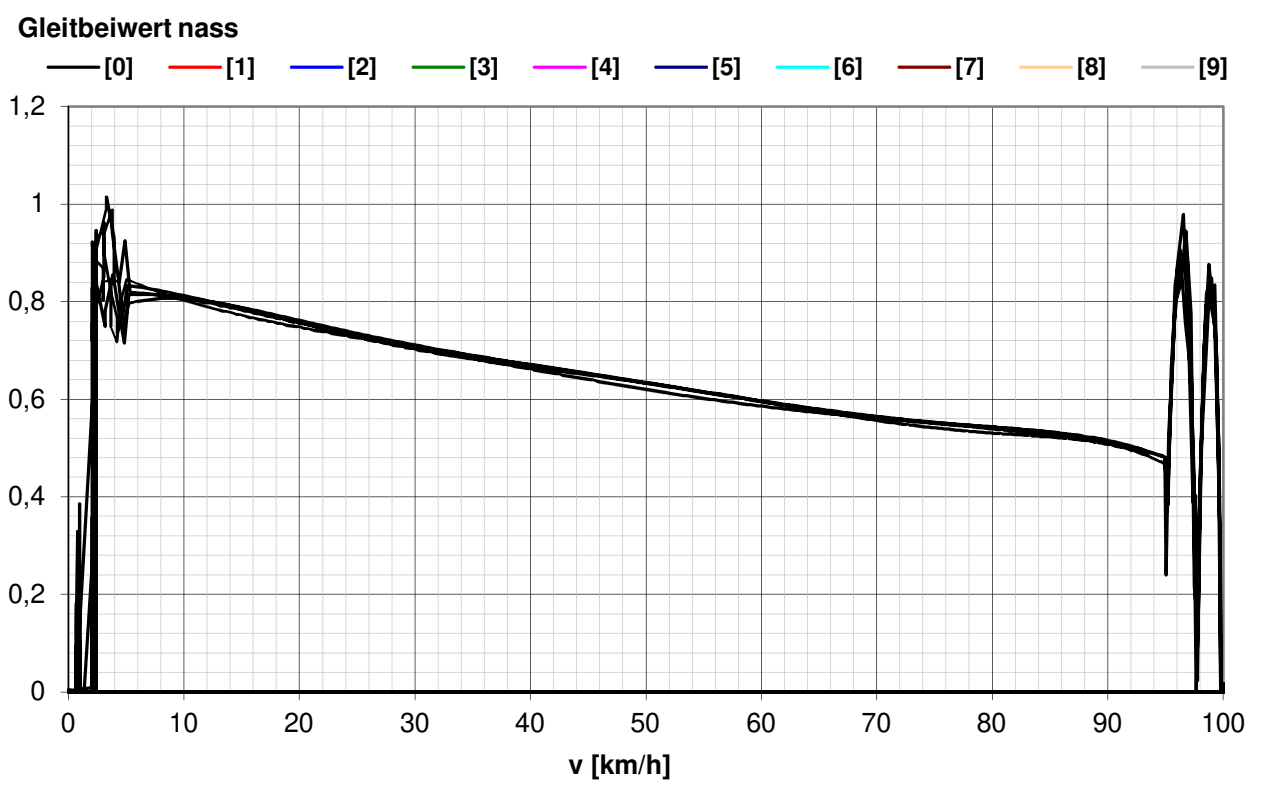
Probe	Ergebnis	Bemerkung





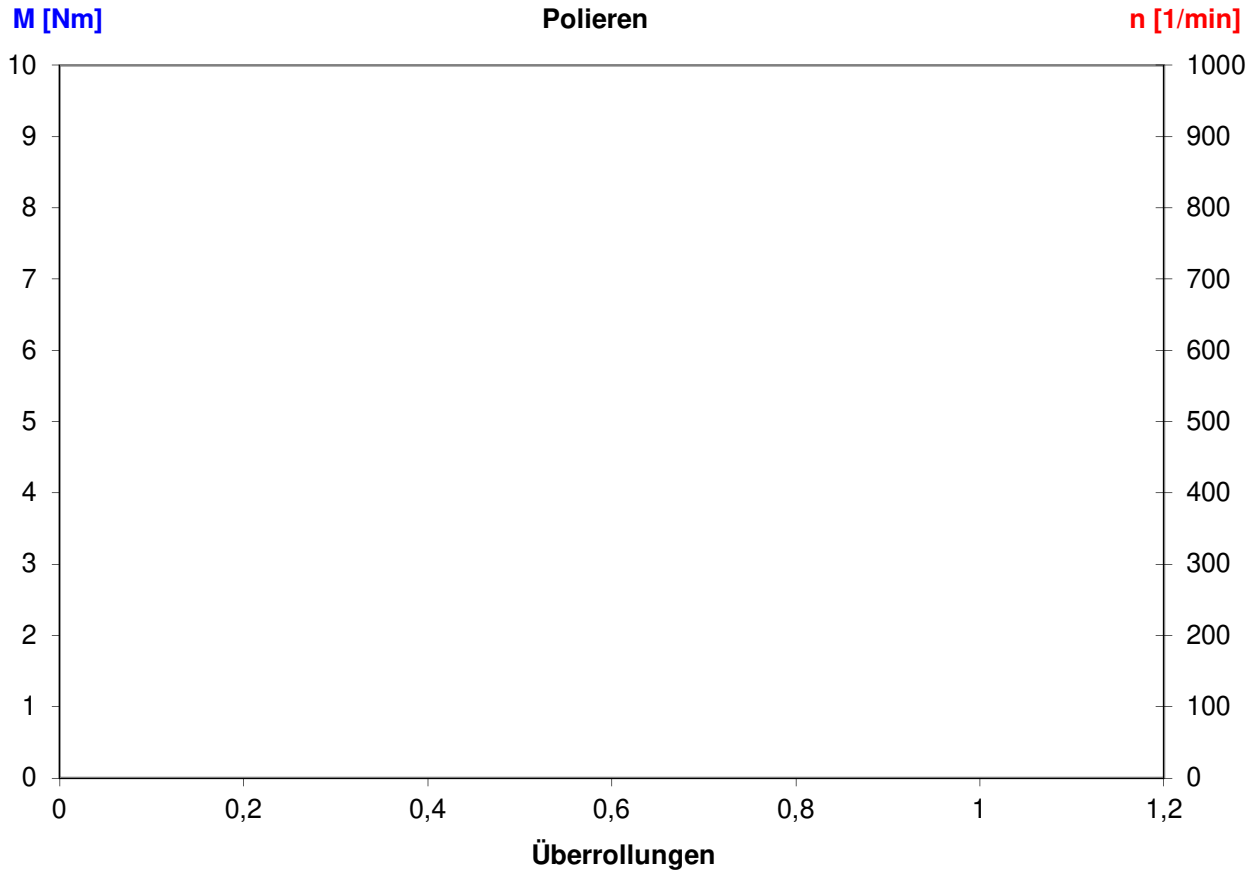
67a_4

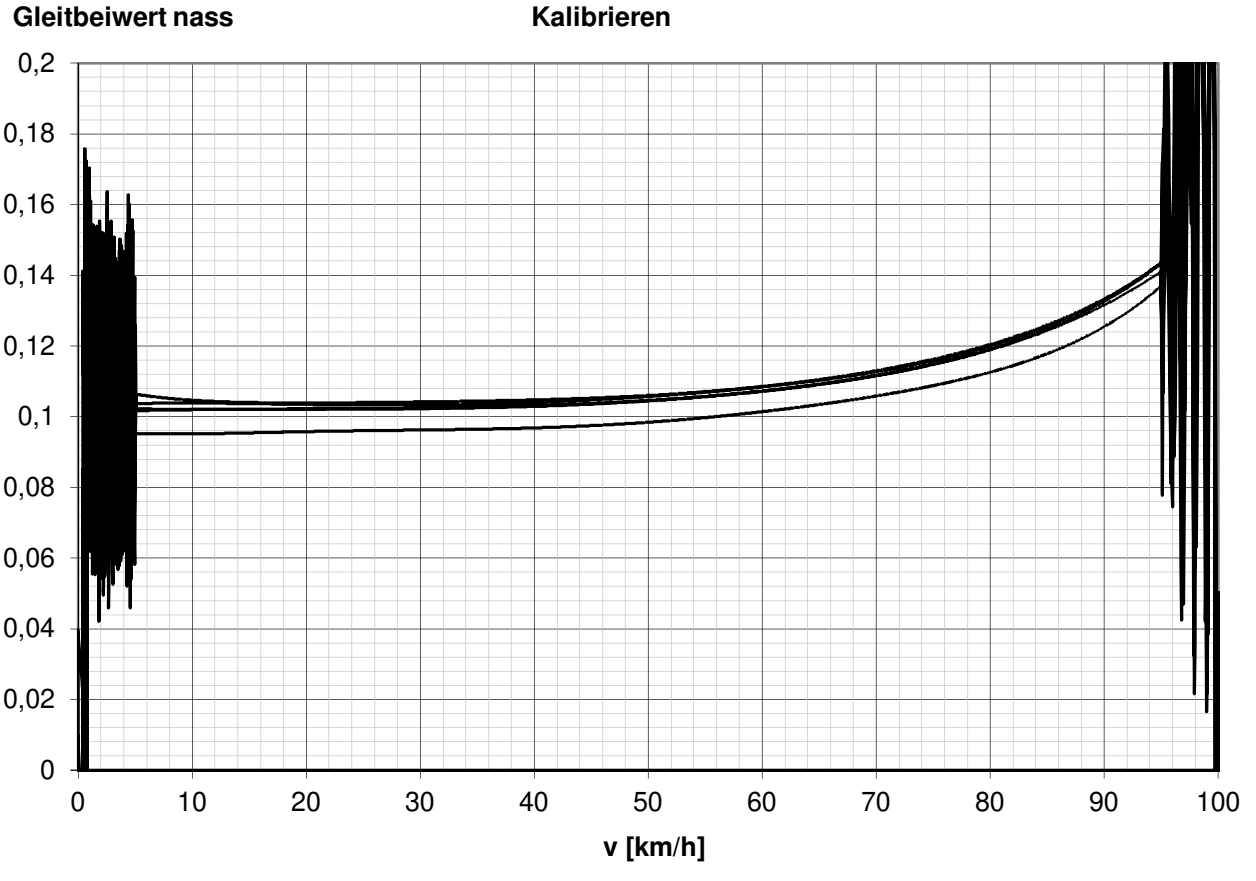
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	13.04.2018 08:00	0	100,0	61,82	0,101	
KAL 2.	13.04.2018 08:28	0	100,0	59,63	0,108	
KAL 3.	13.04.2018 08:57	0	100,0	59,94	0,107	
KAL 4.	13.04.2018 09:26	0	100,0	59,73	0,109	
KAL 5.	13.04.2018 09:55	0	100,0	59,77	0,107	
[0] 1.	13.04.2018 08:09	0	100,0	11,18	0,586	
[0] 2.	13.04.2018 08:37	0	100,0	11,01	0,597	
[0] 3.	13.04.2018 09:07	0	100,0	11,04	0,596	
[0] 4.	13.04.2018 09:35	0	100,0	11,03	0,596	
[0] 5.	13.04.2018 10:04	0	100,0	11,05	0,596	



PWS-Kalibrierung

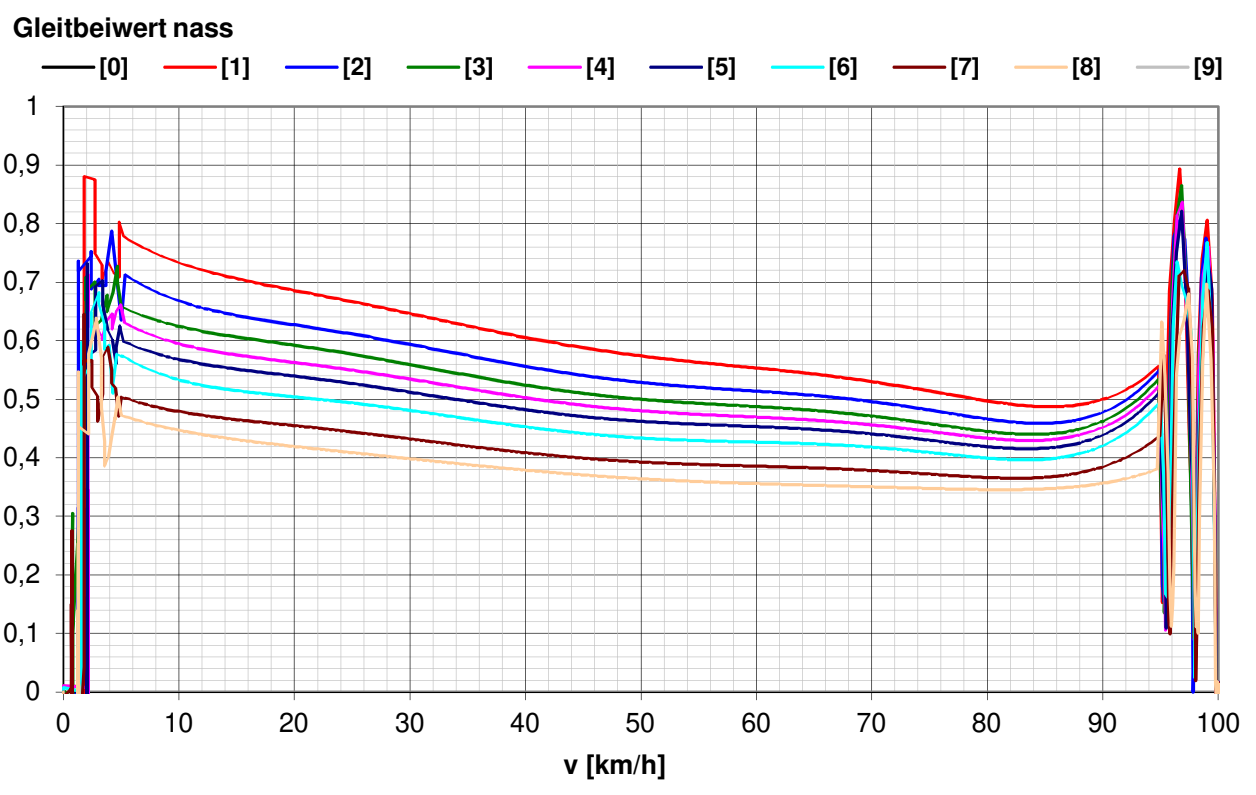
Probe	Ergebnis	Bemerkung





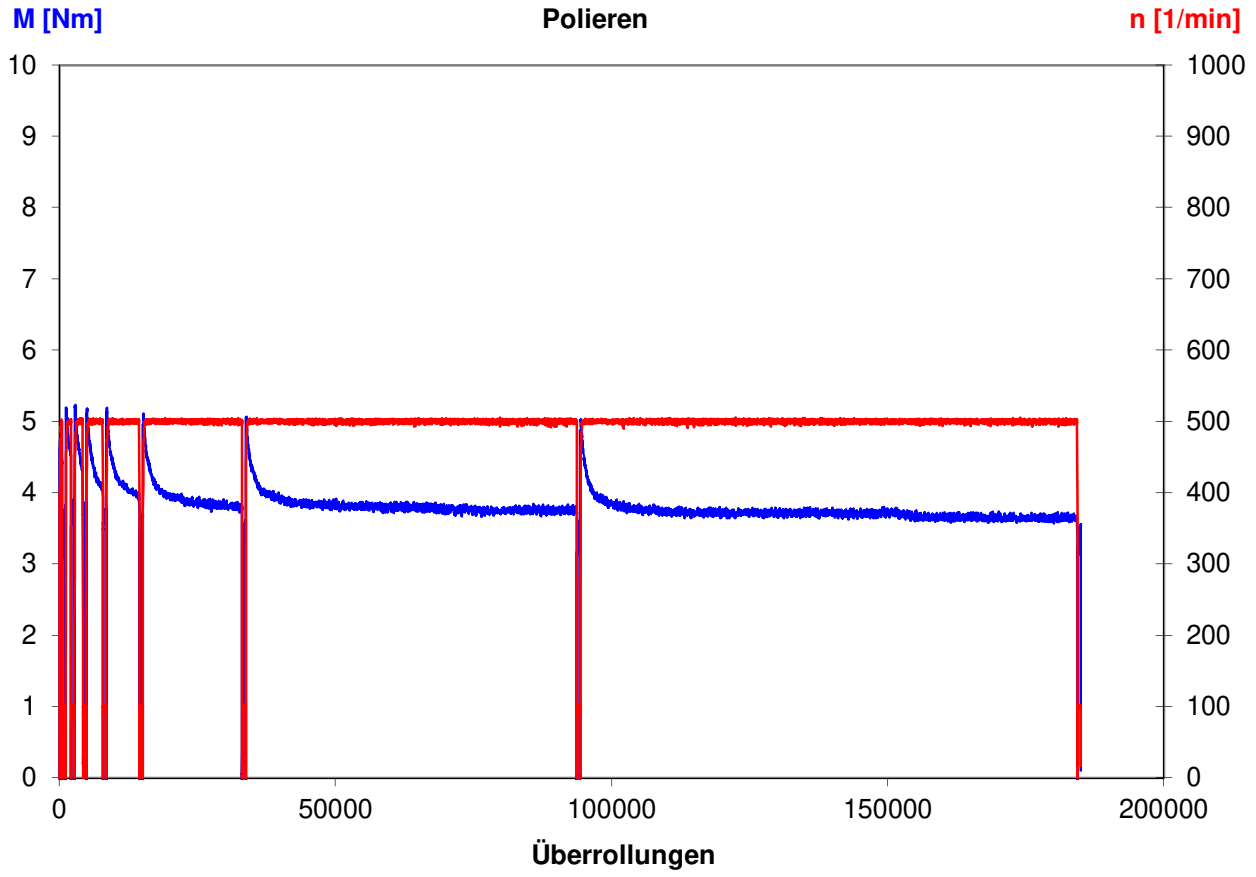
67a_4

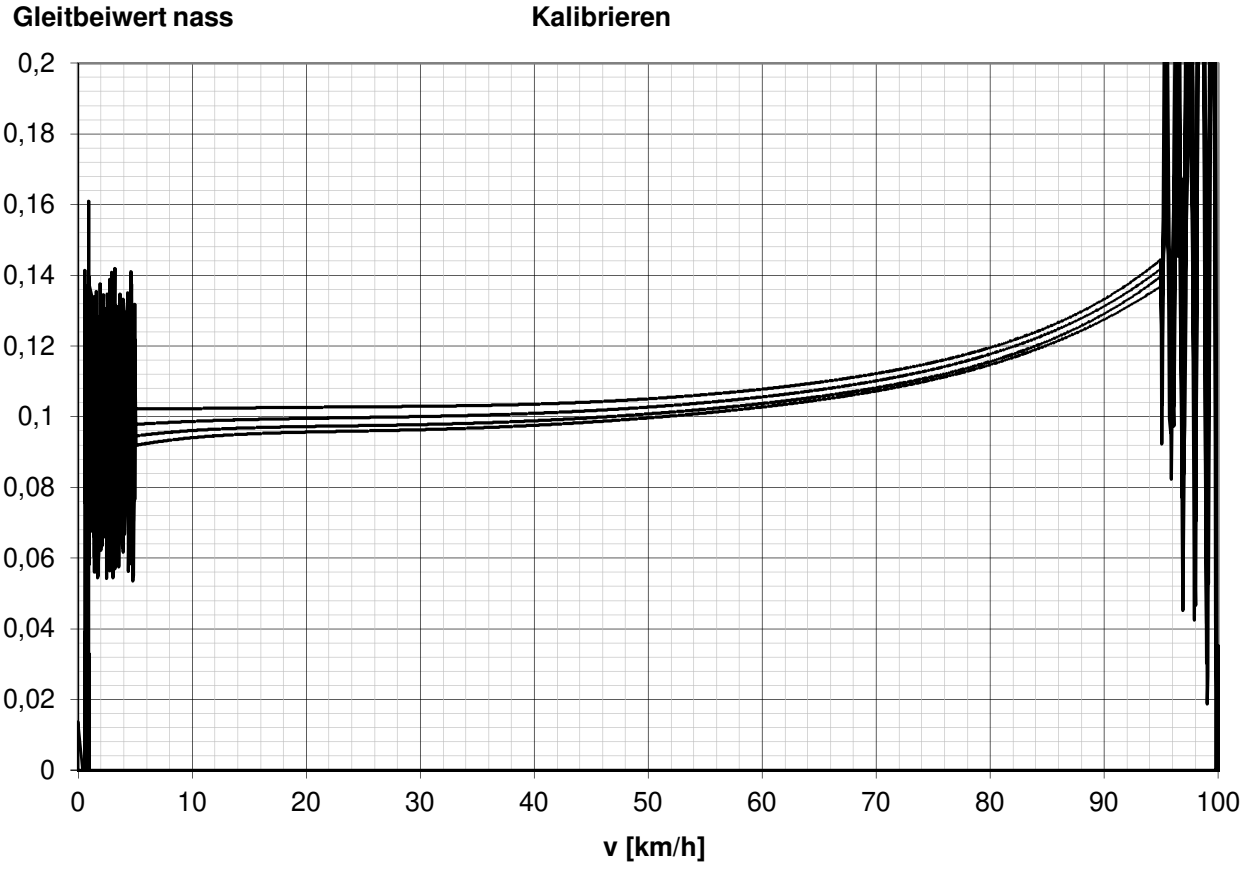
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	13.04.2018 10:16	1116	100,0	59,82	0,108	
KAL 2.	13.04.2018 11:07	8466	100,0	59,55	0,106	
KAL 3.	13.04.2018 12:51	94338	100,0	60,29	0,104	
KAL 4.	13.04.2018 14:14	184962	100,0	60,90	0,103	
[1] 1.	13.04.2018 10:25	1116	100,0	12,04	0,553	
[2] 1.	13.04.2018 10:40	2733	100,0	13,01	0,514	
[3] 1.	13.04.2018 10:55	4848	100,0	13,74	0,487	
[4] 1.	13.04.2018 11:15	8466	100,0	14,29	0,469	
[5] 1.	13.04.2018 11:35	15087	100,0	14,87	0,453	
[6] 1.	13.04.2018 12:01	33711	100,0	15,76	0,427	
[7] 1.	13.04.2018 13:05	94338	100,0	17,38	0,386	
[8] 1.	13.04.2018 14:21	184962	100,0	18,72	0,356	



PWS-Kalibrierung

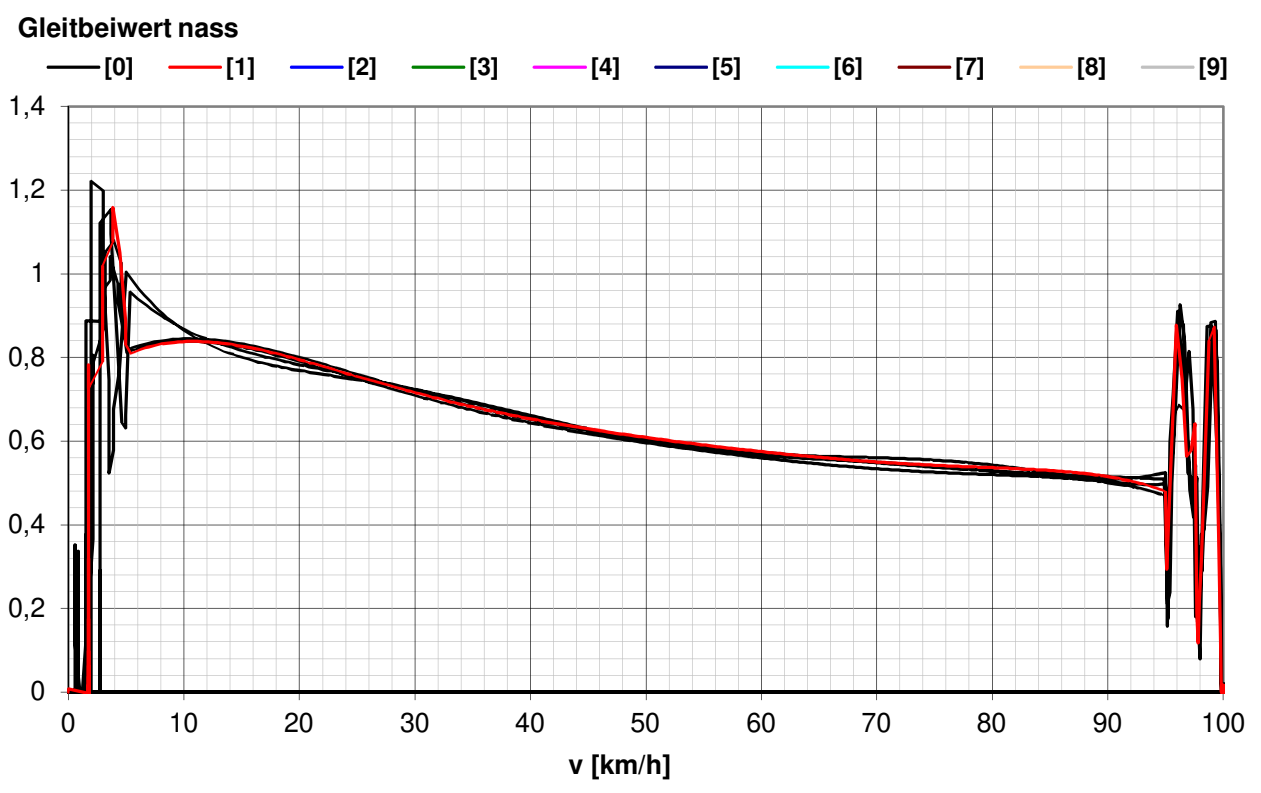
Probe	Ergebnis	Bemerkung





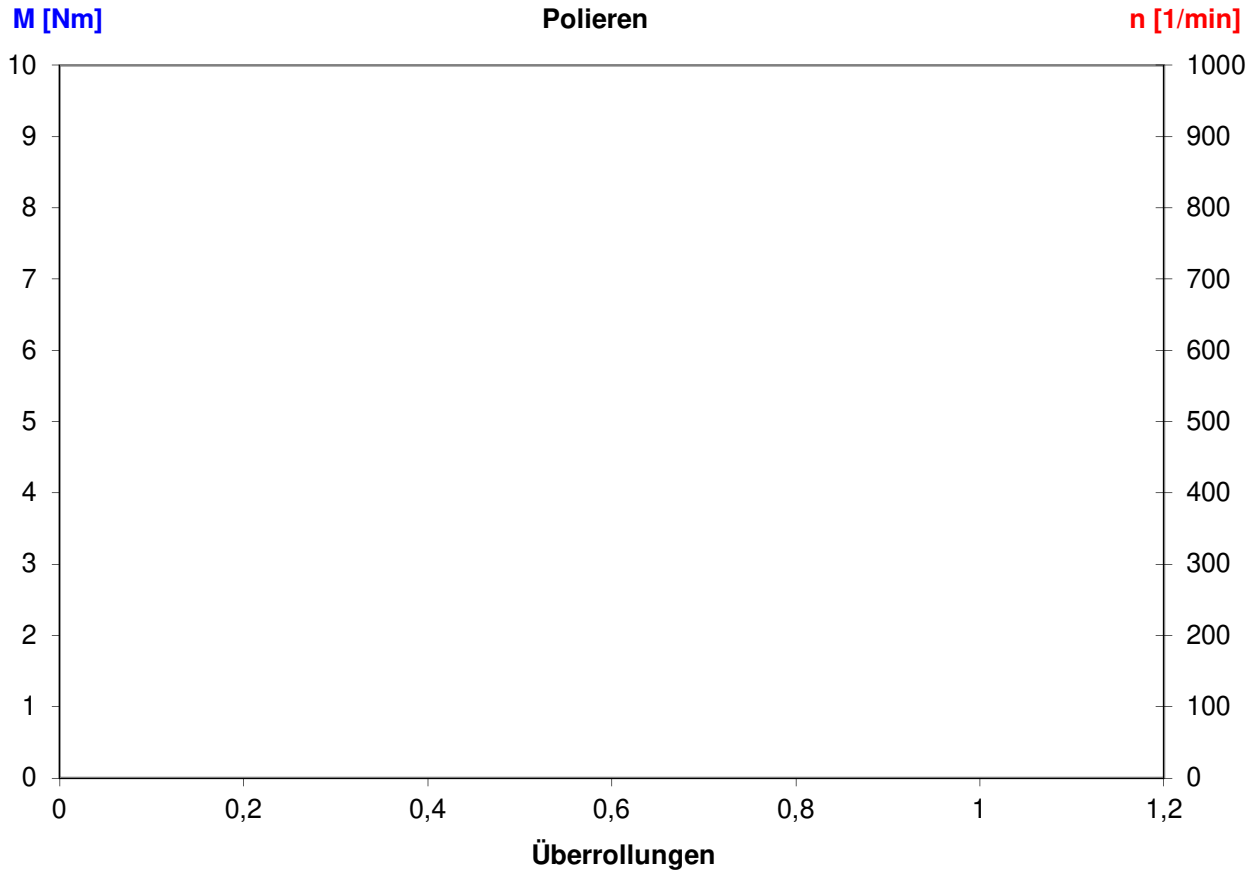
108_3

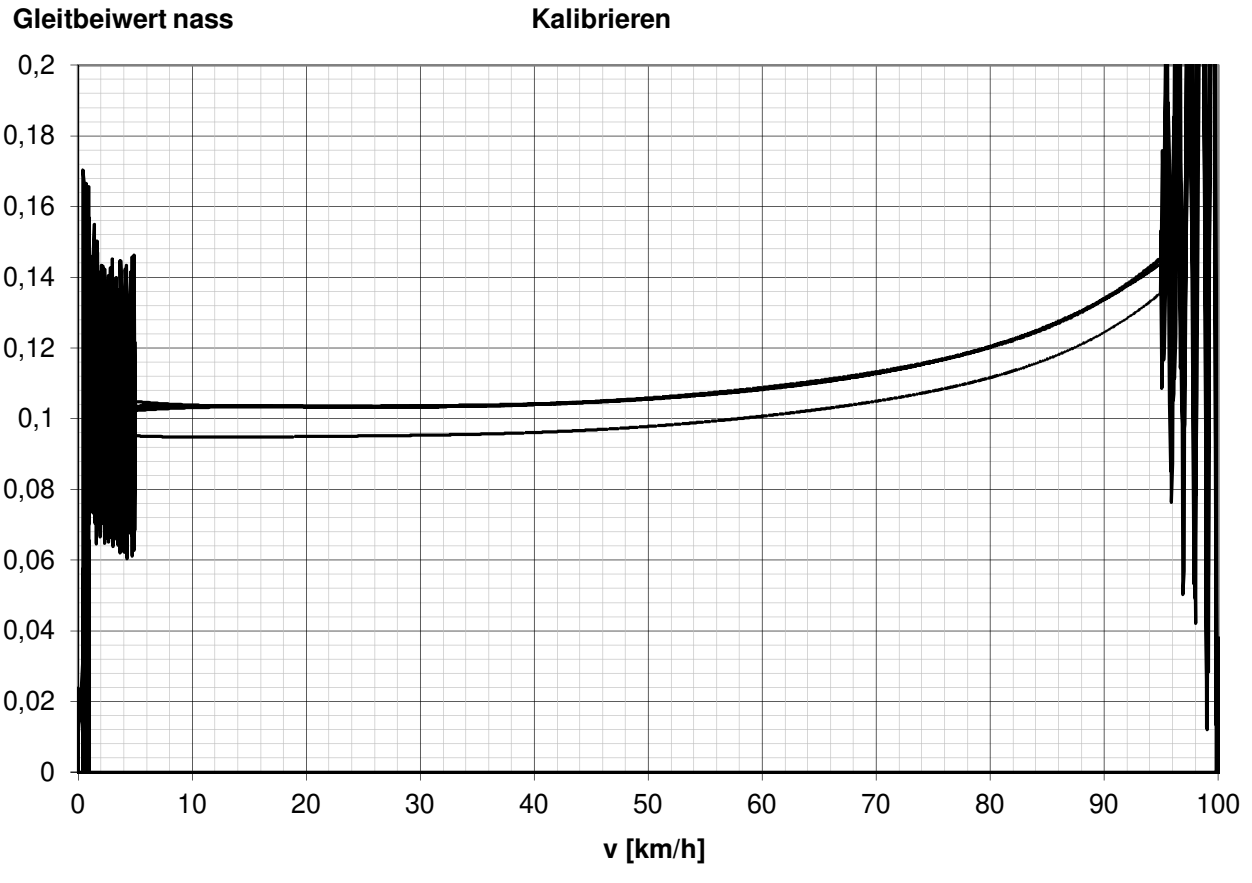
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	18.04.2018 08:22	0	100,0	61,89	0,101	
KAL 2.	18.04.2018 08:53	0	100,0	58,97	0,108	
KAL 3.	18.04.2018 09:17	0	100,0	59,45	0,109	
KAL 4.	18.04.2018 09:42	0	100,0	59,40	0,108	
KAL 5.	18.04.2018 10:08	0	100,0	58,77	0,108	
[0] 1.	18.04.2018 08:31	0	100,0	11,31	0,560	
[0] 2.	18.04.2018 09:00	0	100,0	11,23	0,566	
[0] 3.	18.04.2018 09:24	0	100,0	11,15	0,573	
[0] 4.	18.04.2018 09:50	0	100,0	11,18	0,575	
[0] 5.	18.04.2018 10:15	0	100,0	11,16	0,570	



PWS-Kalibrierung

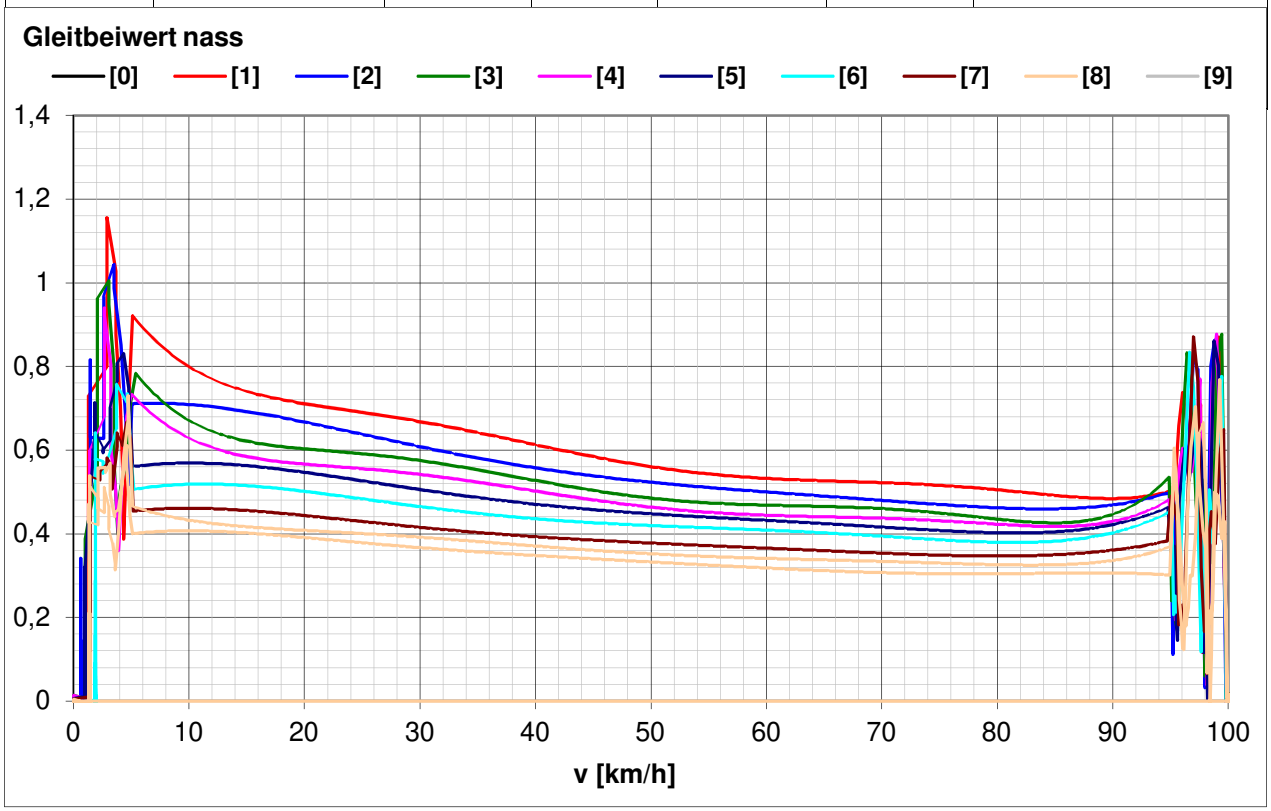
Probe	Ergebnis	Bemerkung





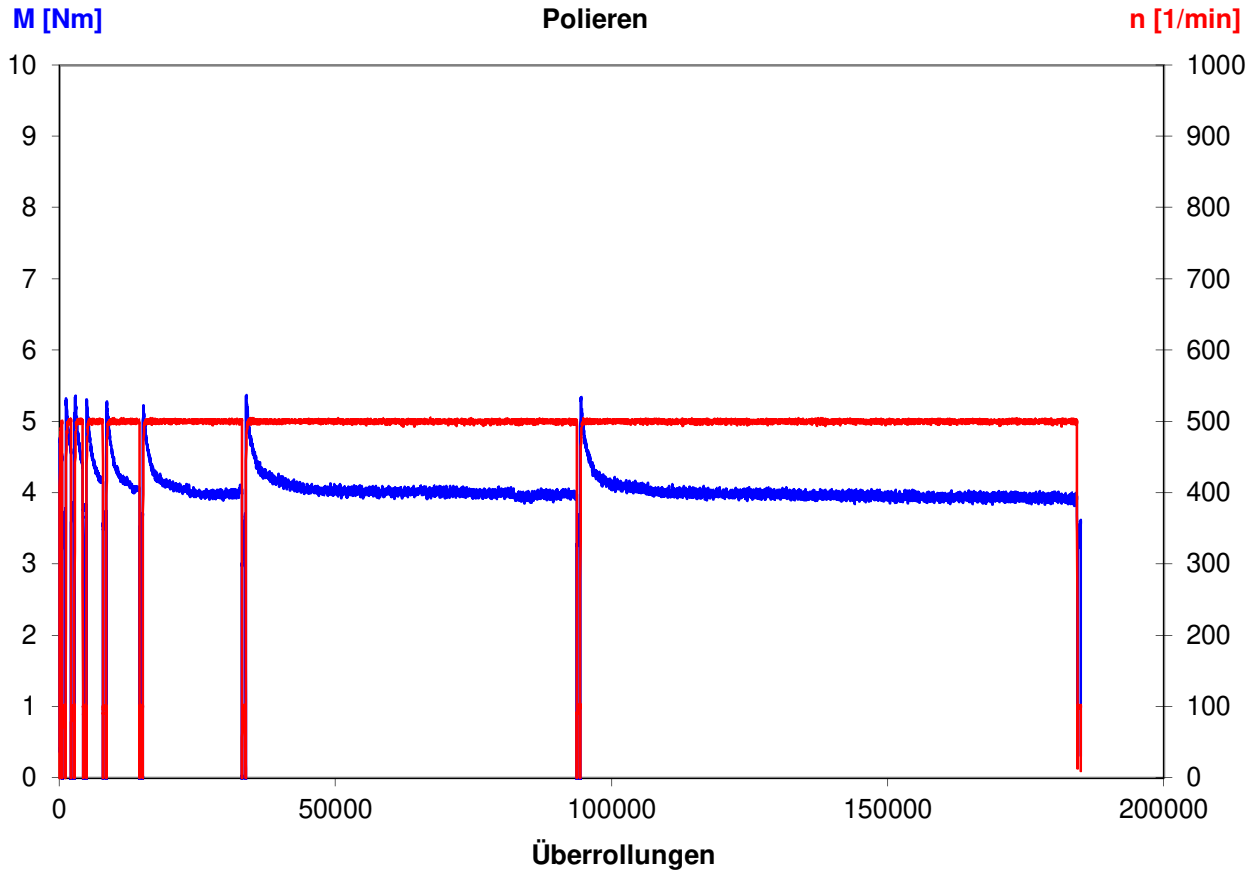
108_3

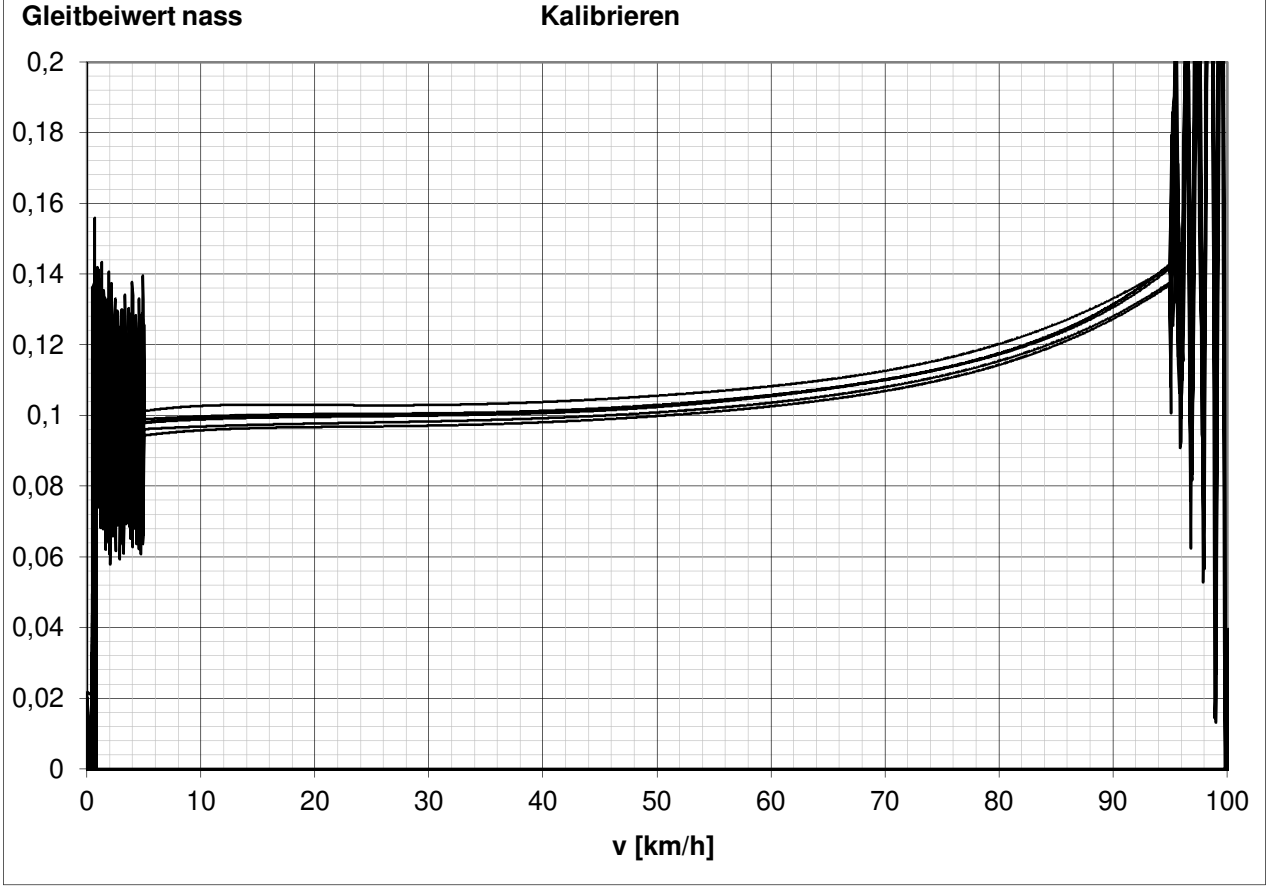
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	18.04.2018 10:30	1116	100,0	58,80	0,108	
KAL 2.	18.04.2018 10:58	2730	100,0	59,85	0,106	
KAL 3.	18.04.2018 11:00	2730	100,0	59,96	0,105	q = 48 %
KAL 4.	18.04.2018 11:28	8466	100,0	59,54	0,106	
KAL 5.	18.04.2018 13:12	94329	100,0	59,93	0,104	
KAL 6.	18.04.2018 14:32	184953	100,0	61,06	0,103	
[1] 1.	18.04.2018 10:37	1116	100,0	11,99	0,532	
[2] 1.	18.04.2018 10:56	2730	100,0	12,93	0,500	
[3] 1.	18.04.2018 11:17	4848	100,0	13,74	0,468	
[4] 1.	18.04.2018 11:36	8466	100,0	14,47	0,444	
[5] 1.	18.04.2018 11:54	15084	100,0	15,16	0,432	
[6] 1.	18.04.2018 12:22	33708	100,0	16,23	0,409	
[7] 1.	18.04.2018 13:21	94329	100,0	17,99	0,365	
[8] 1.	18.04.2018 14:40	184953	100,0	19,18	0,341	
[8] 2.	18.04.2018 14:47	184953	100,0	20,28	0,318	q = 48%



PWS-Kalibrierung

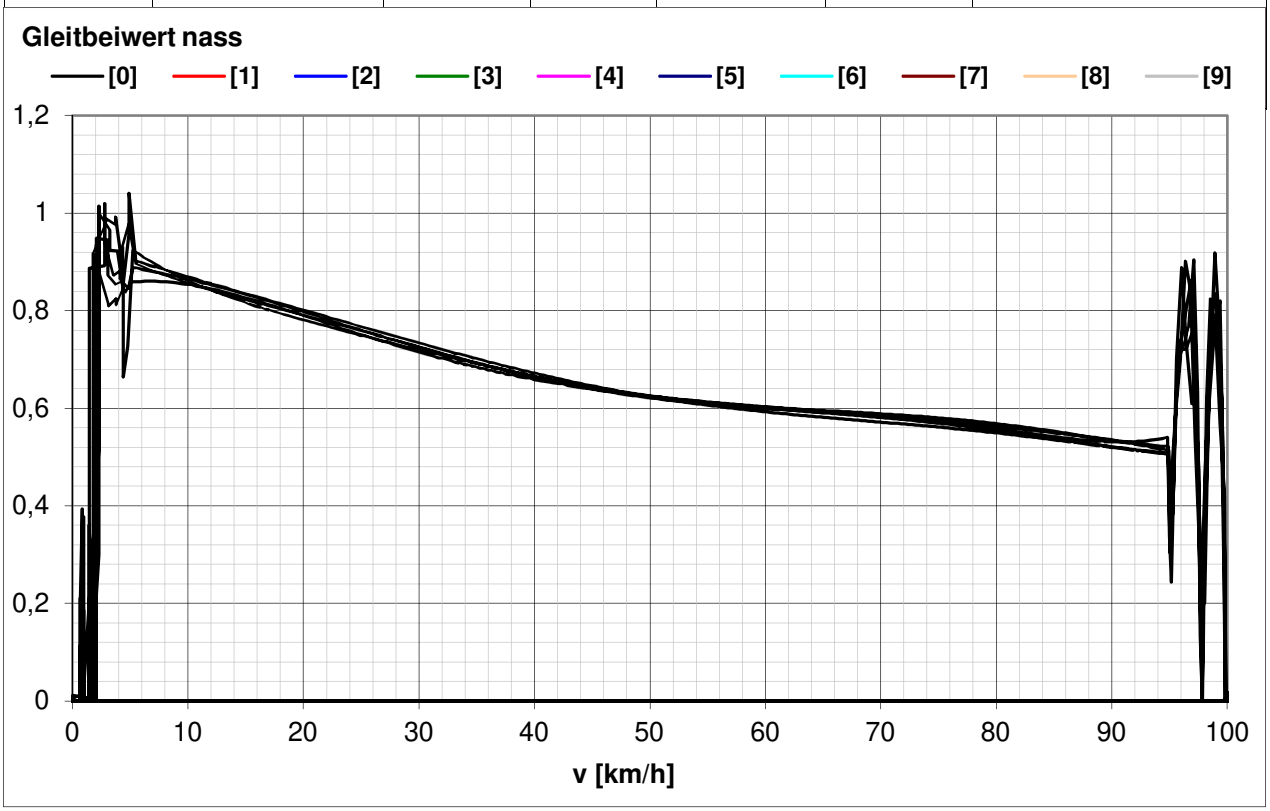
Probe	Ergebnis	Bemerkung





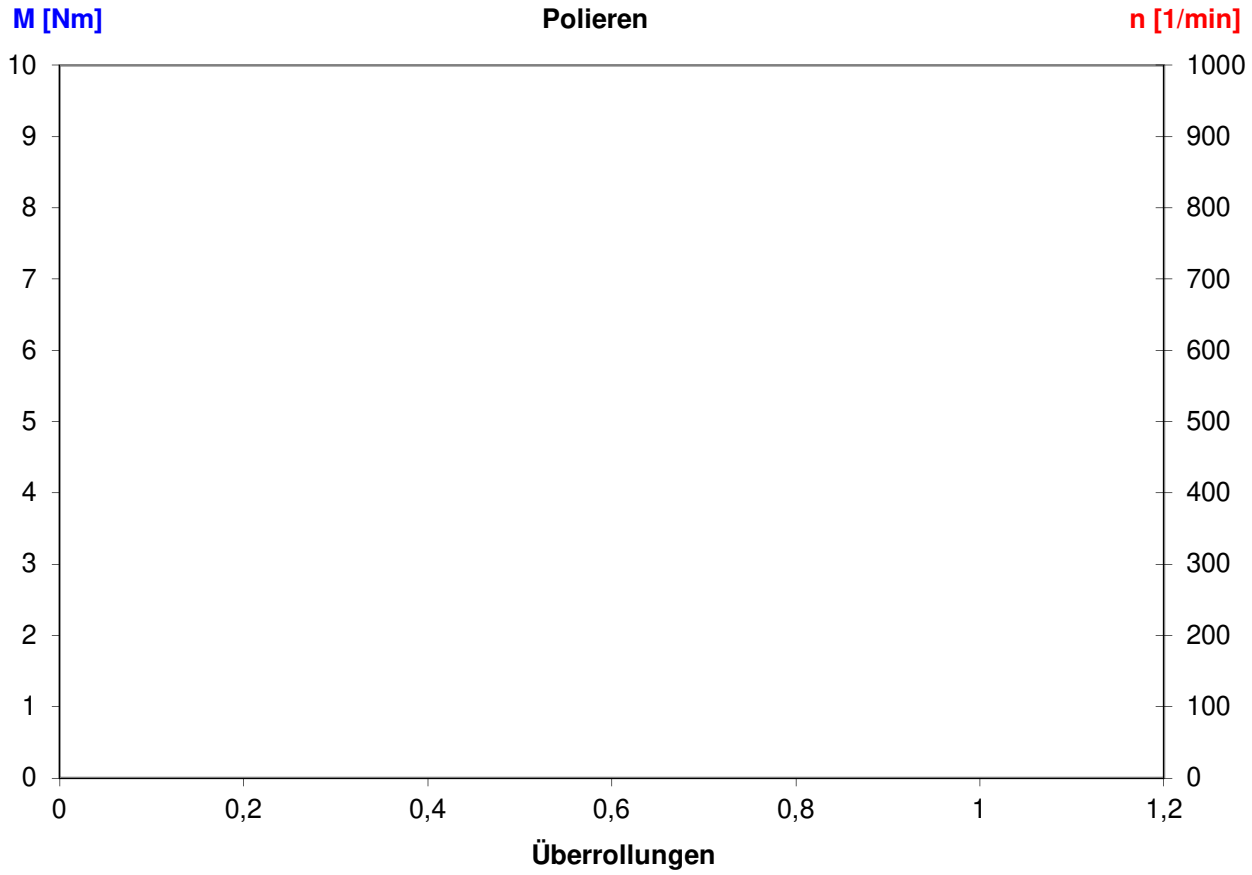
108_4

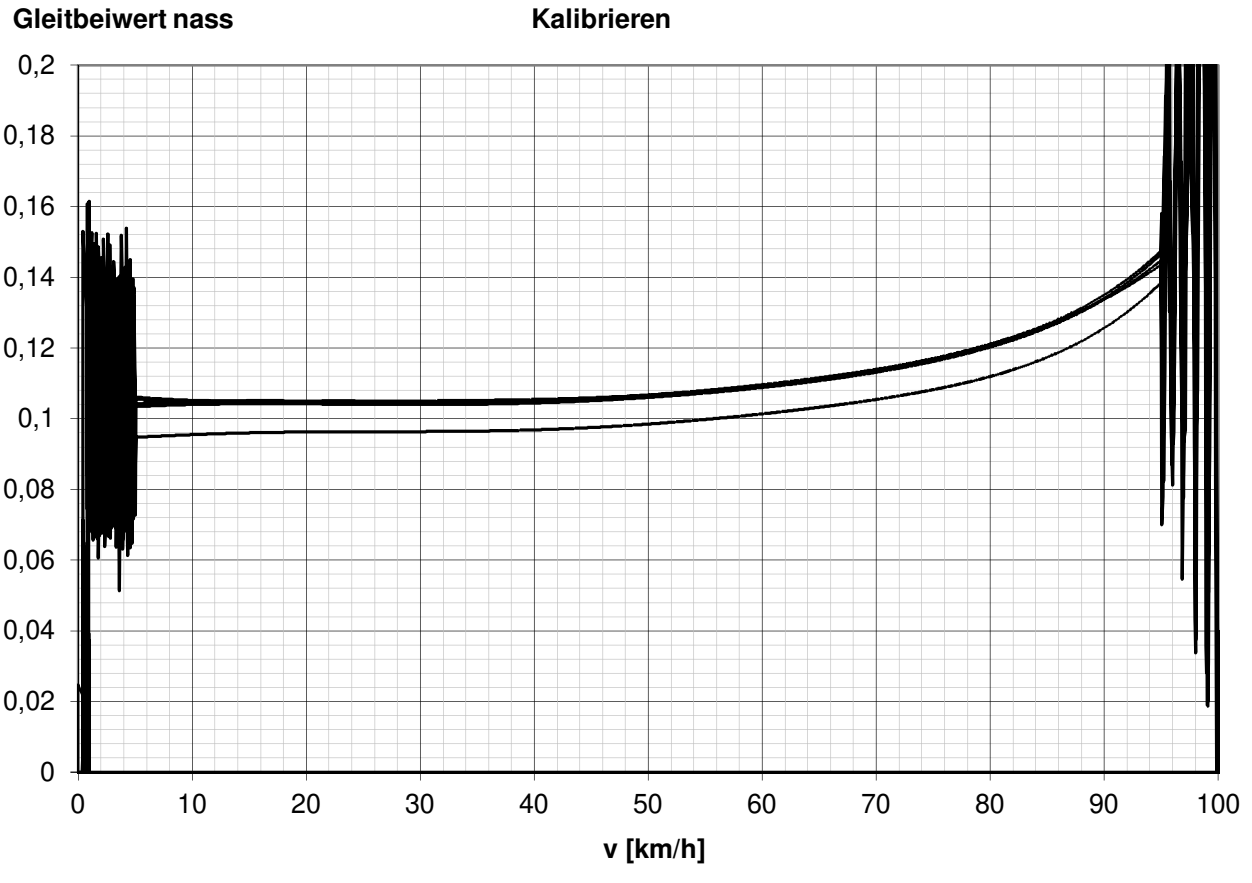
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	19.04.2018 08:11	0	100,0	61,22	0,101	
KAL 2.	19.04.2018 08:40	0	100,0	58,29	0,109	
KAL 3.	19.04.2018 09:09	0	100,0	58,34	0,110	
KAL 4.	19.04.2018 09:40	0	100,0	58,56	0,109	
KAL 5.	19.04.2018 10:09	0	100,0	58,88	0,109	
[0] 1.	19.04.2018 08:20	0	100,0	10,88	0,593	
[0] 2.	19.04.2018 08:49	0	100,0	10,93	0,600	
[0] 3.	19.04.2018 09:19	0	100,0	10,97	0,600	
[0] 4.	19.04.2018 09:48	0	100,0	10,99	0,603	
[0] 5.	19.04.2018 10:18	0	100,0	10,94	0,602	



PWS-Kalibrierung

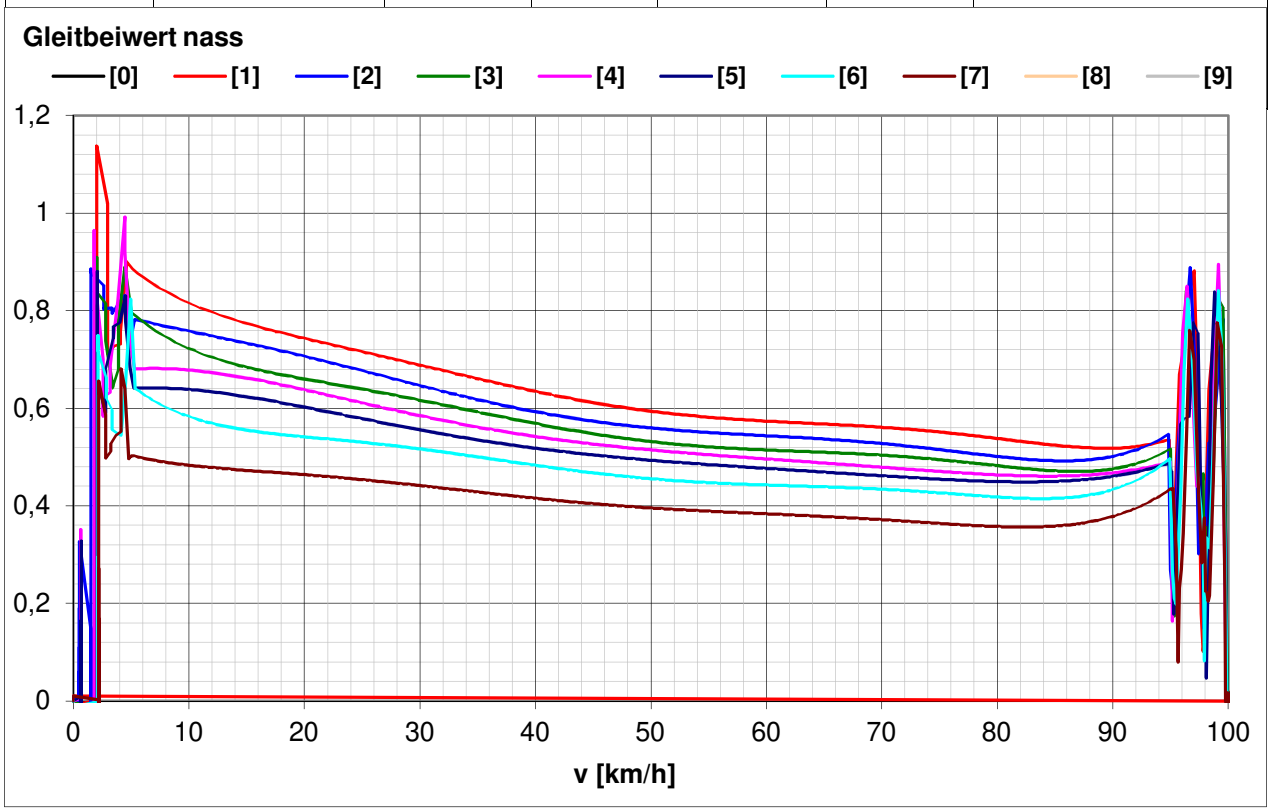
Probe	Ergebnis	Bemerkung





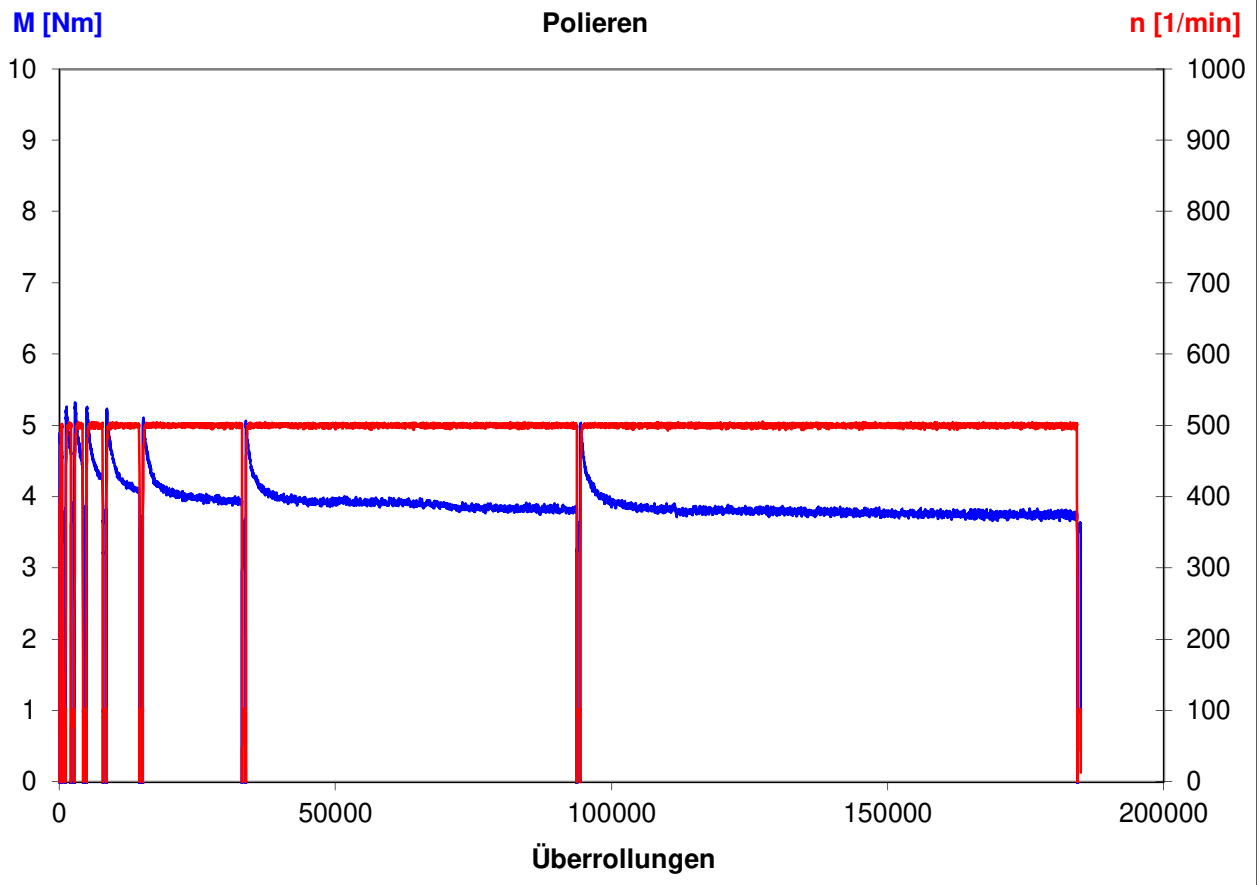
108_4

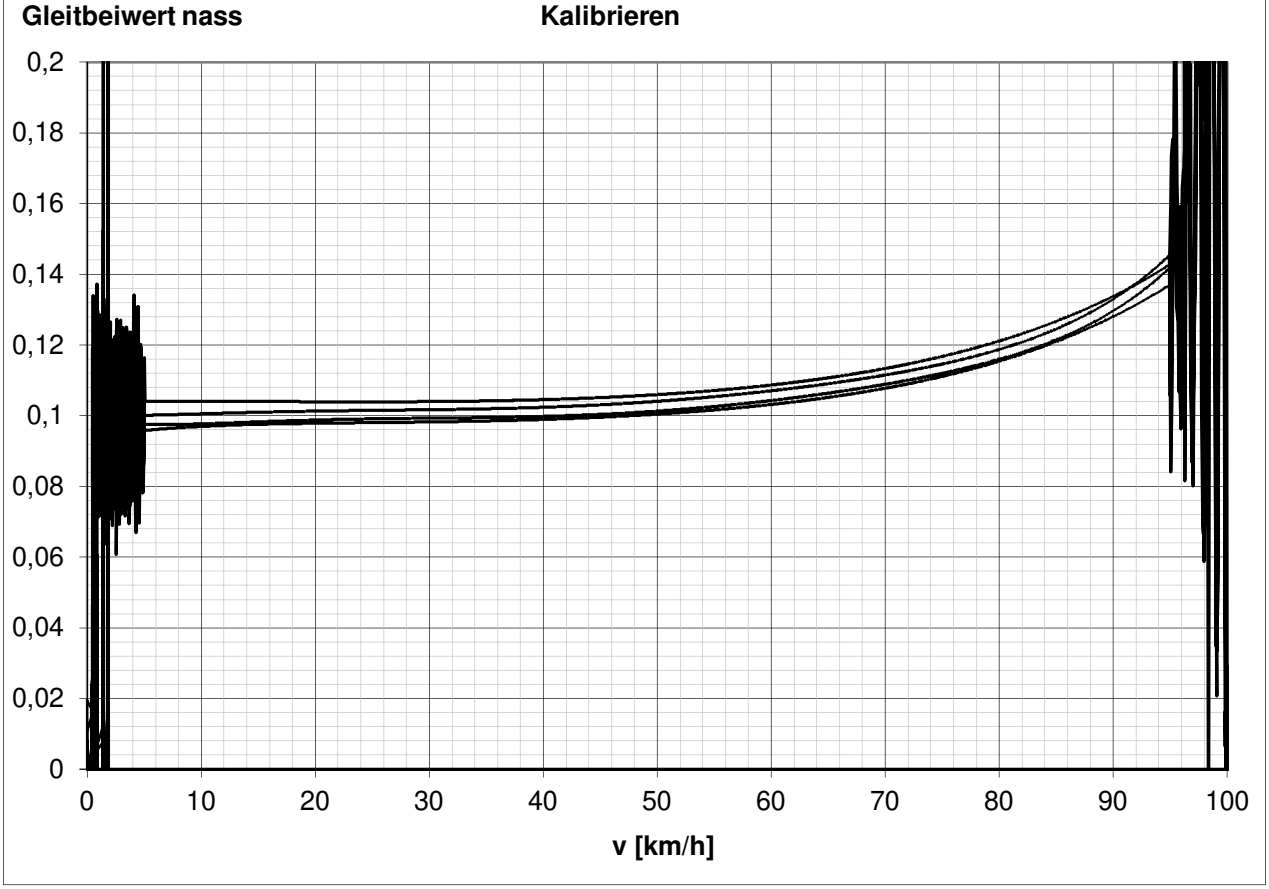
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	19.04.2018 10:31	1119	100,0	58,60	0,109	
KAL 2.	19.04.2018 11:22	8466	26,1			
KAL 3.	19.04.2018 11:22	8466	100,0	58,90	0,107	
KAL 4.	19.04.2018 13:06	94329	100,0	60,73	0,104	
KAL 5.	19.04.2018 14:35	184953	100,0	60,44	0,103	
[1] 1.	19.04.2018 10:40	1119	100,0	11,46	0,574	
[2] 1.	19.04.2018 10:54	2733	100,0	12,15	0,544	
[3] 1.	19.04.2018 11:11	4848	100,0	12,75	0,514	
[4] 1.	19.04.2018 11:31	8466	100,0	13,25	0,496	
[5] 1.	19.04.2018 11:50	15087	100,0	13,87	0,477	
[6] 1.	19.04.2018 12:17	33708	100,0	14,89	0,443	
[7] 1.	19.04.2018 13:15	94329	100,0	17,27	0,384	
[8] 1.	19.04.2018 14:48	184953	100,0	19,01	0,342	
[8] 2.	19.04.2018 14:55	184953	100,0	19,98	0,319	q = 33,5 %



PWS-Kalibrierung

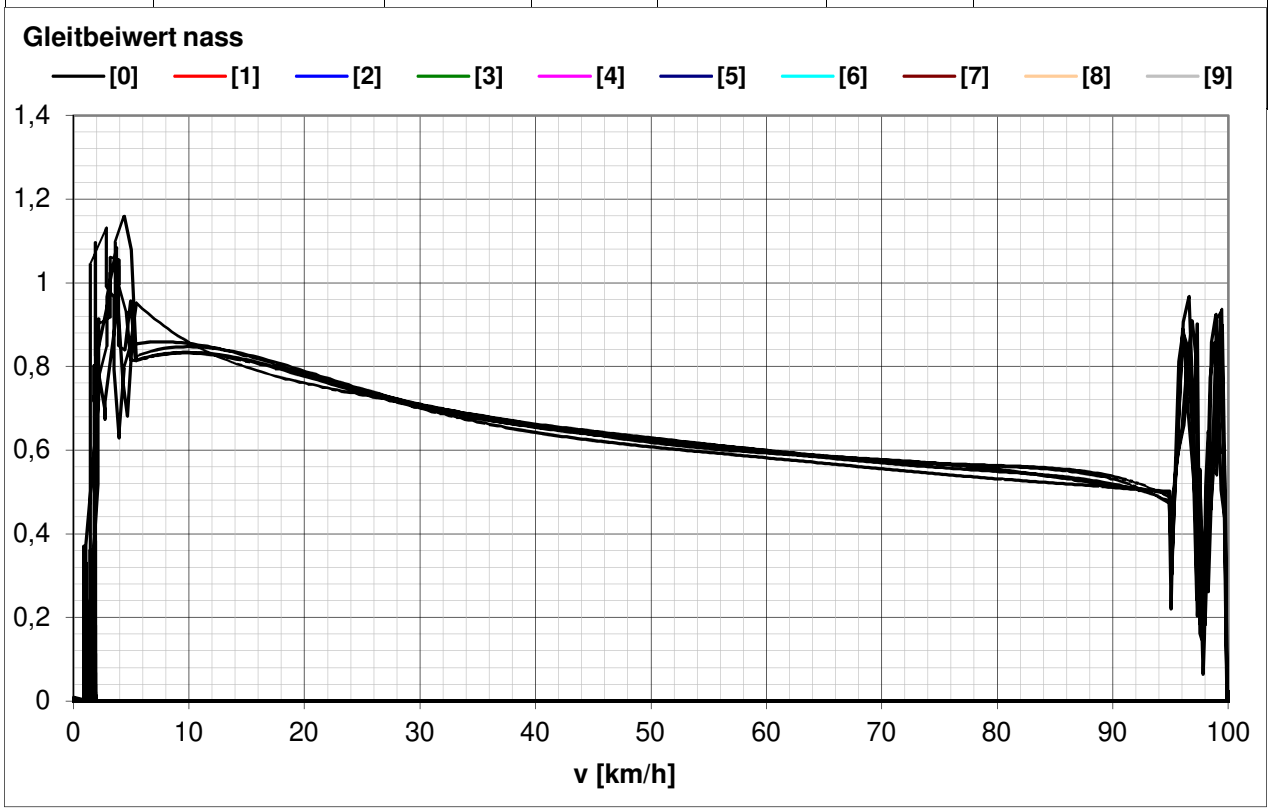
Probe	Ergebnis	Bemerkung





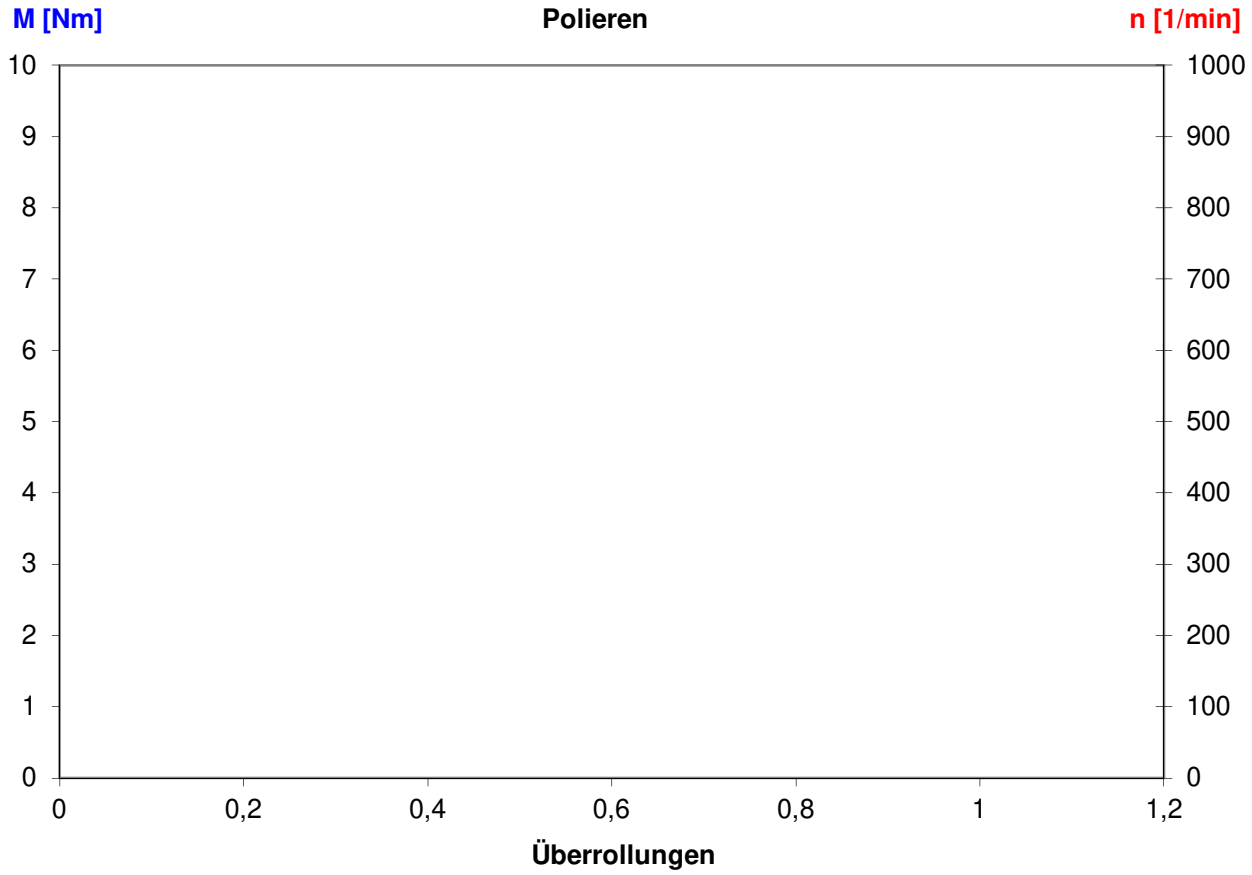
108_4

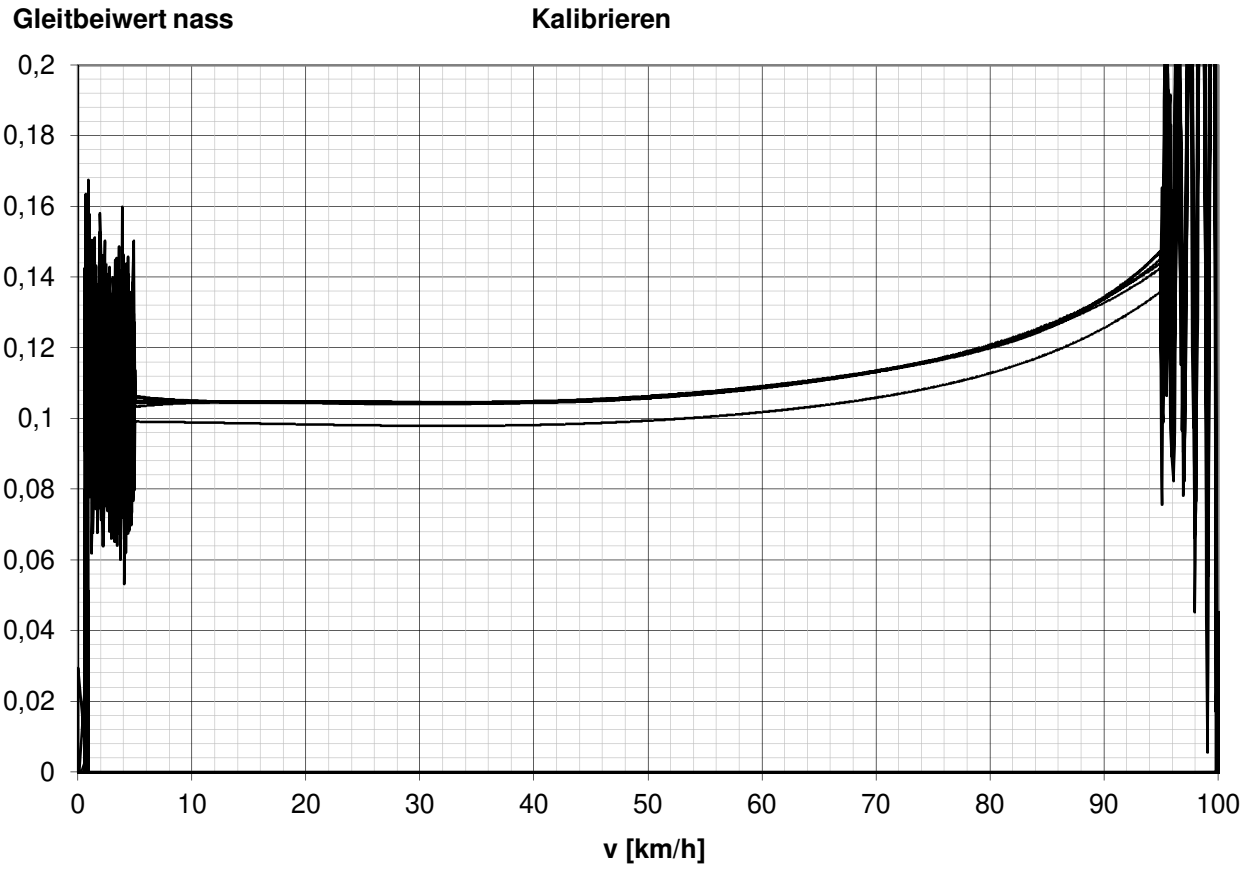
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	23.04.2018 08:09	0	100,0	61,66	0,102	q = 33,5 %
KAL 2.	23.04.2018 08:45	0	100,0	59,25	0,109	q = 33,5 %
KAL 3.	23.04.2018 09:32	0	100,0	59,47	0,109	q = 33,5 %
KAL 4.	23.04.2018 10:20	0	100,0	59,47	0,109	q = 33,5 %
KAL 5.	23.04.2018 11:07	0	100,0	59,27	0,109	q = 33,5 %
KAL 6.	23.04.2018 11:09	0	100,0	58,85	0,109	q = 56,0 %
[0] 1.	23.04.2018 08:18	0	100,0	11,26	0,581	q = 33,5 %
[0] 2.	23.04.2018 08:53	0	100,0	11,10	0,596	q = 33,5 %
[0] 3.	23.04.2018 09:40	0	100,0	11,03	0,598	q = 33,5 %
[0] 4.	23.04.2018 10:28	0	100,0	11,11	0,593	q = 33,5 %
[0] 5.	23.04.2018 11:18	0	100,0	11,11	0,599	q = 33,5 %



PWS-Kalibrierung

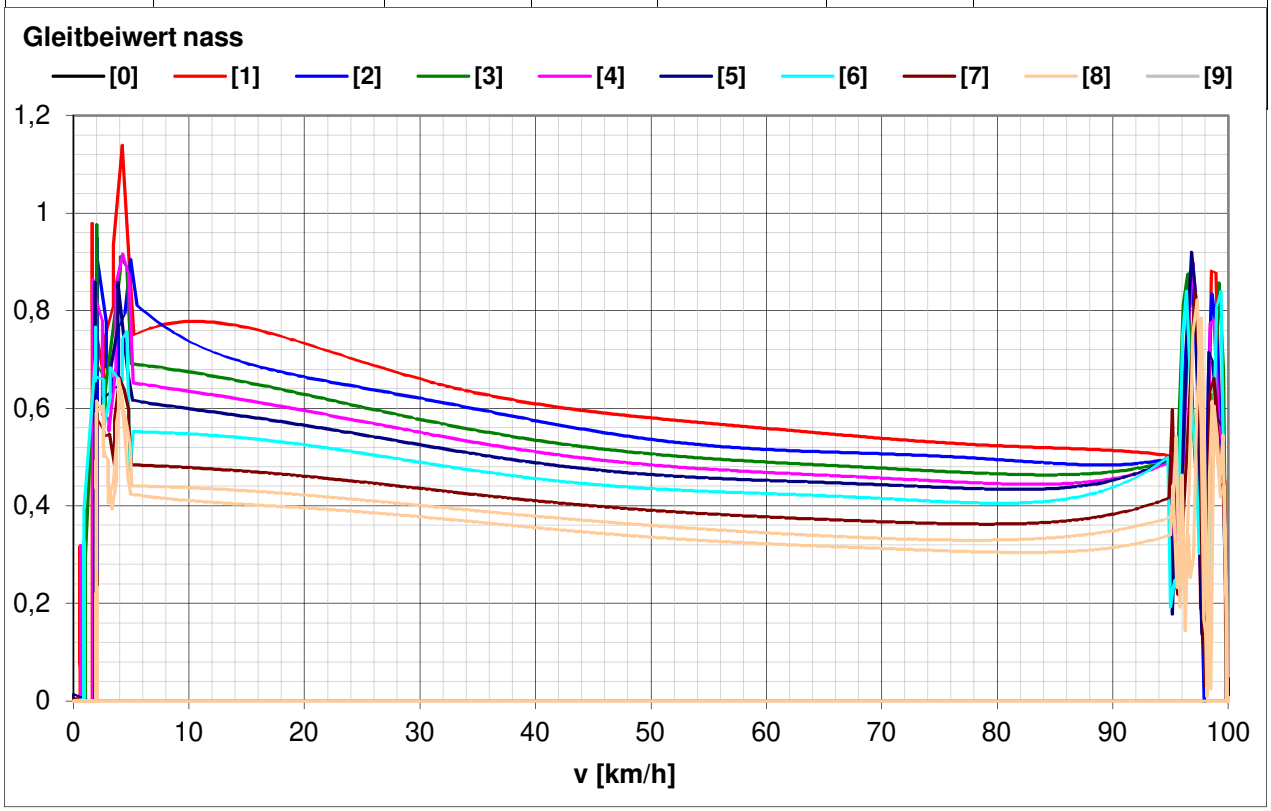
Probe	Ergebnis	Bemerkung





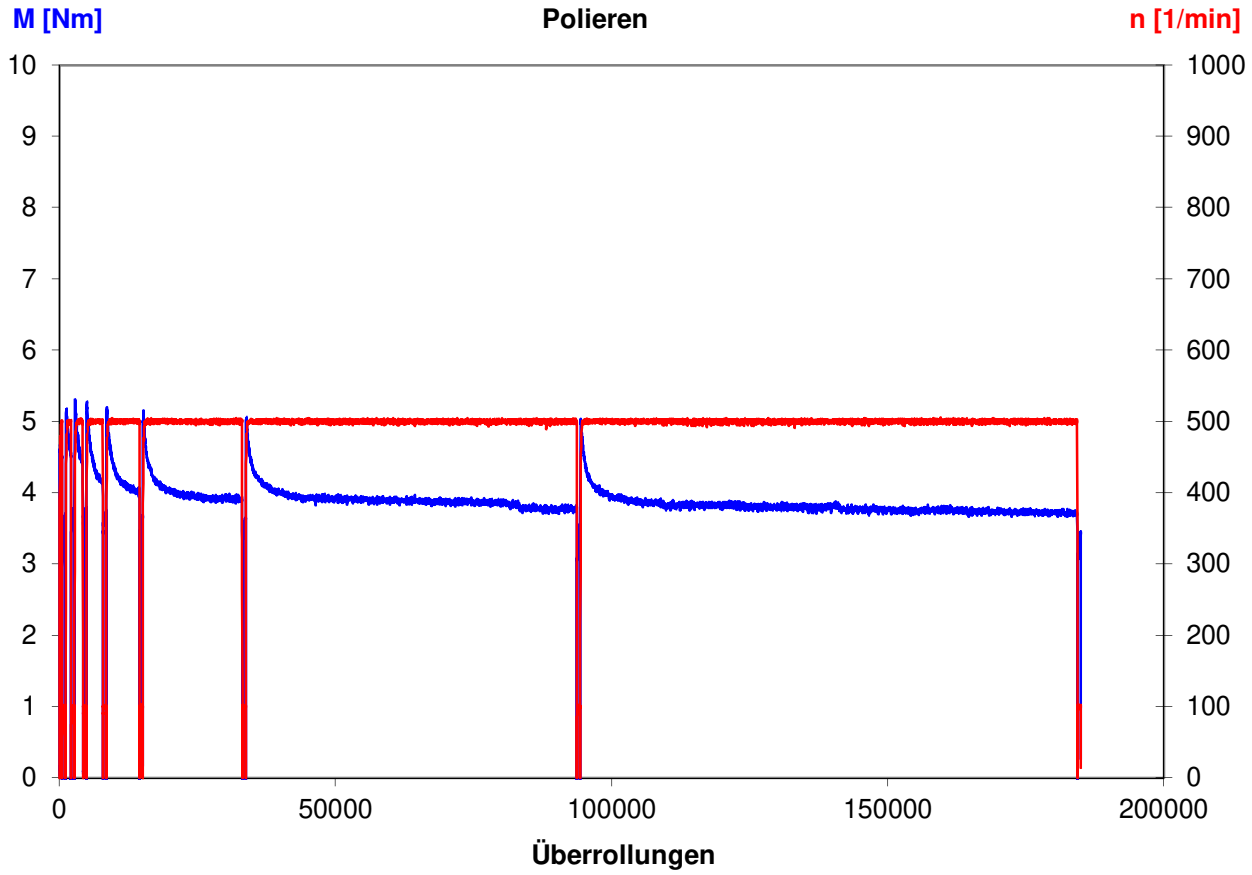
108_4

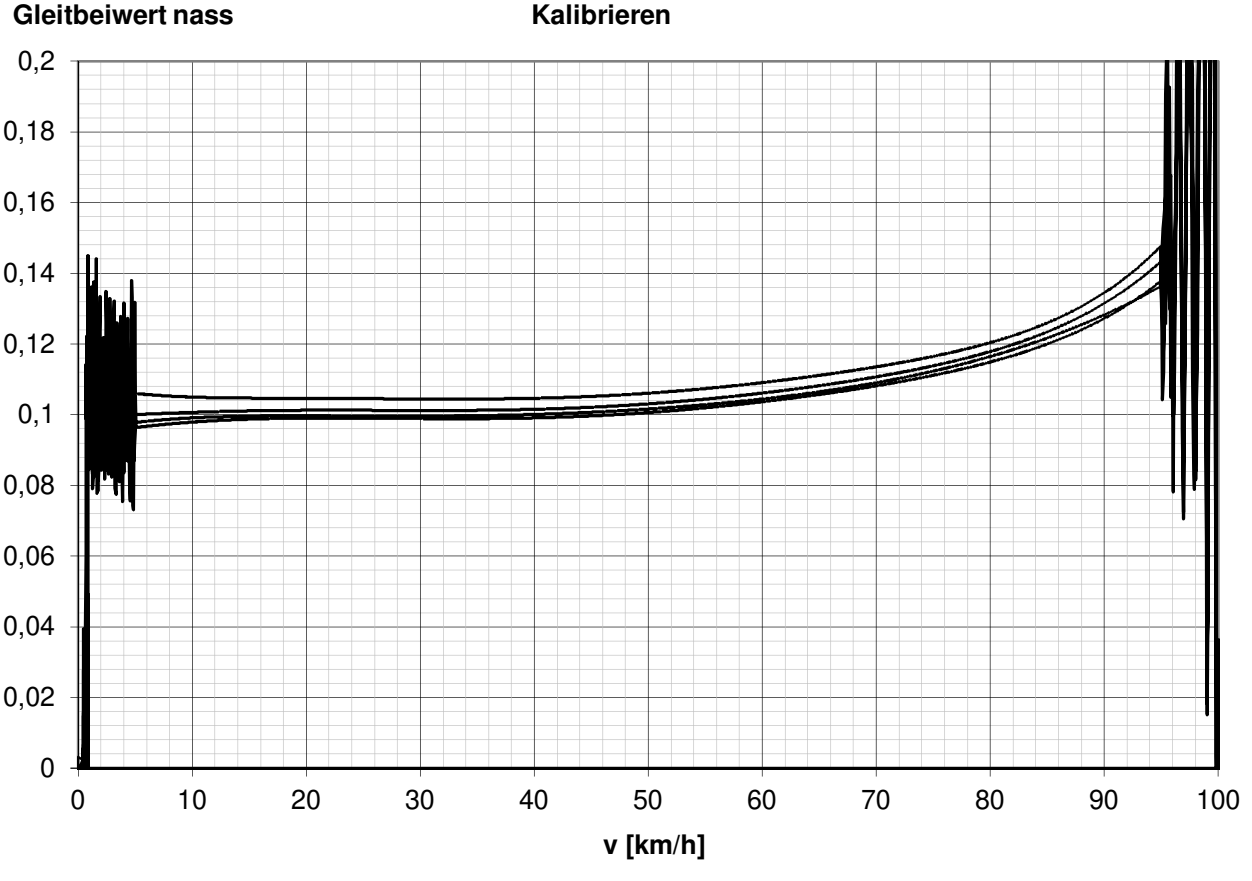
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	23.04.2018 12:00	1116	100,0	59,29	0,109	q = 33,5 %
KAL 2.	23.04.2018 13:06	8475	100,0	60,49	0,106	q = 43,0 %
KAL 3.	23.04.2018 15:03	94341	100,0	59,81	0,104	q = 53,0 %
KAL 4.	23.04.2018 16:27	184968	100,0	60,82	0,104	q = 56,0 %
[1] 1.	23.04.2018 12:12	1116	100,0	11,89	0,559	q = 33,5 %
[2] 1.	23.04.2018 12:29	2733	100,0	12,69	0,515	q = 36,5 %
[3] 1.	23.04.2018 12:48	4854	100,0	13,48	0,490	q = 40,0 %
[4] 1.	23.04.2018 13:14	8475	100,0	14,08	0,468	q = 43,0 %
[5] 1.	23.04.2018 13:35	15096	100,0	14,66	0,452	q = 46,0 %
[6] 1.	23.04.2018 14:08	33717	100,0	15,68	0,425	q = 50,0 %
[7] 1.	23.04.2018 15:11	94341	100,0	17,47	0,377	q = 53,0 %
[8] 1.	23.04.2018 16:35	184968	100,0	18,97	0,345	q = 56,0 %
[8] 2.	23.04.2018 16:37	184968	100,0	20,19	0,322	q = 56,0 %



PWS-Kalibrierung

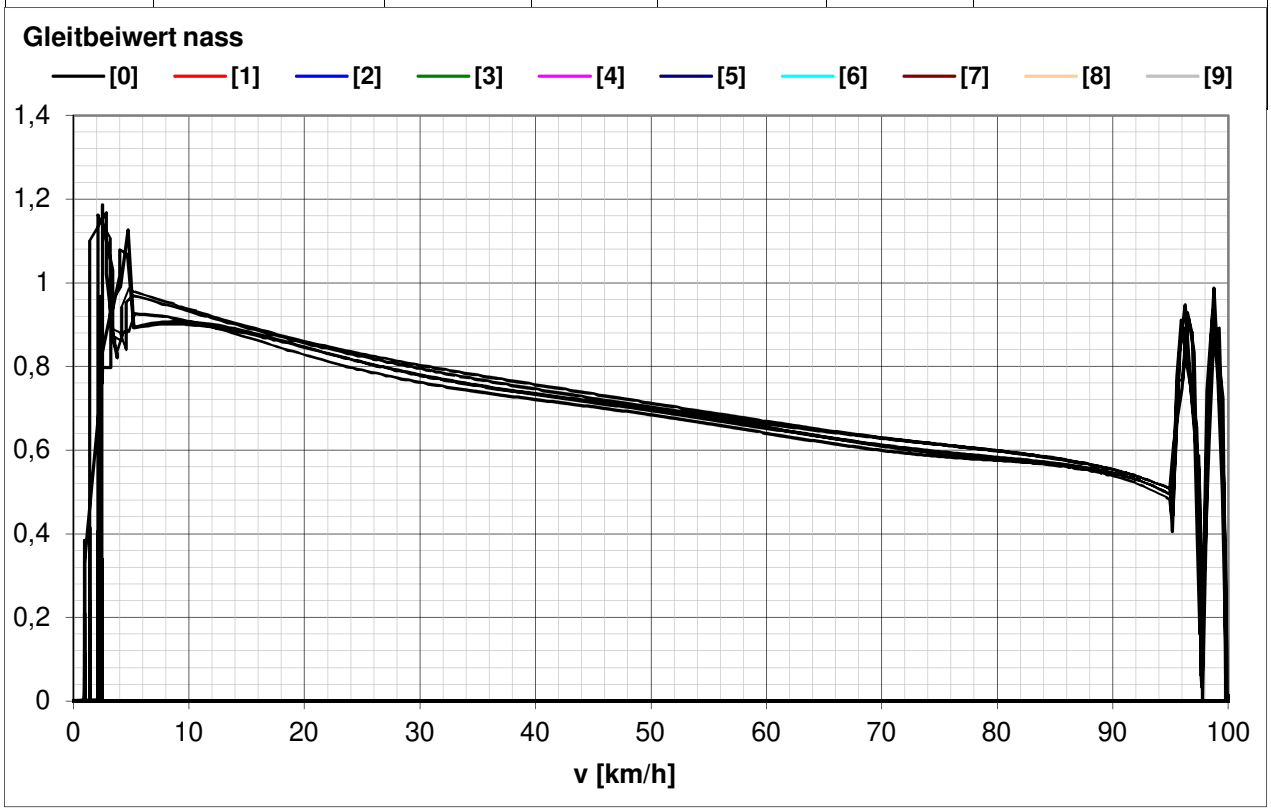
Probe	Ergebnis	Bemerkung





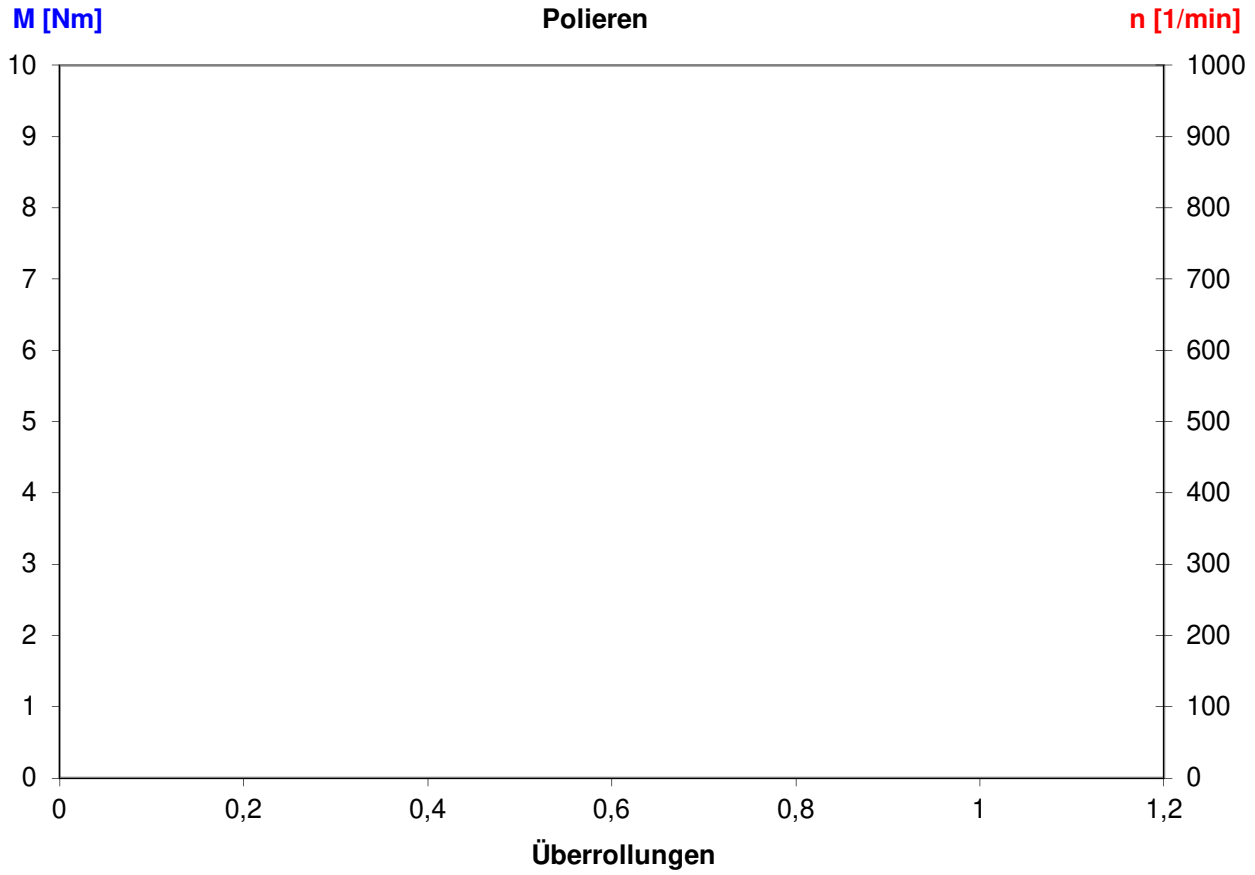
109_3

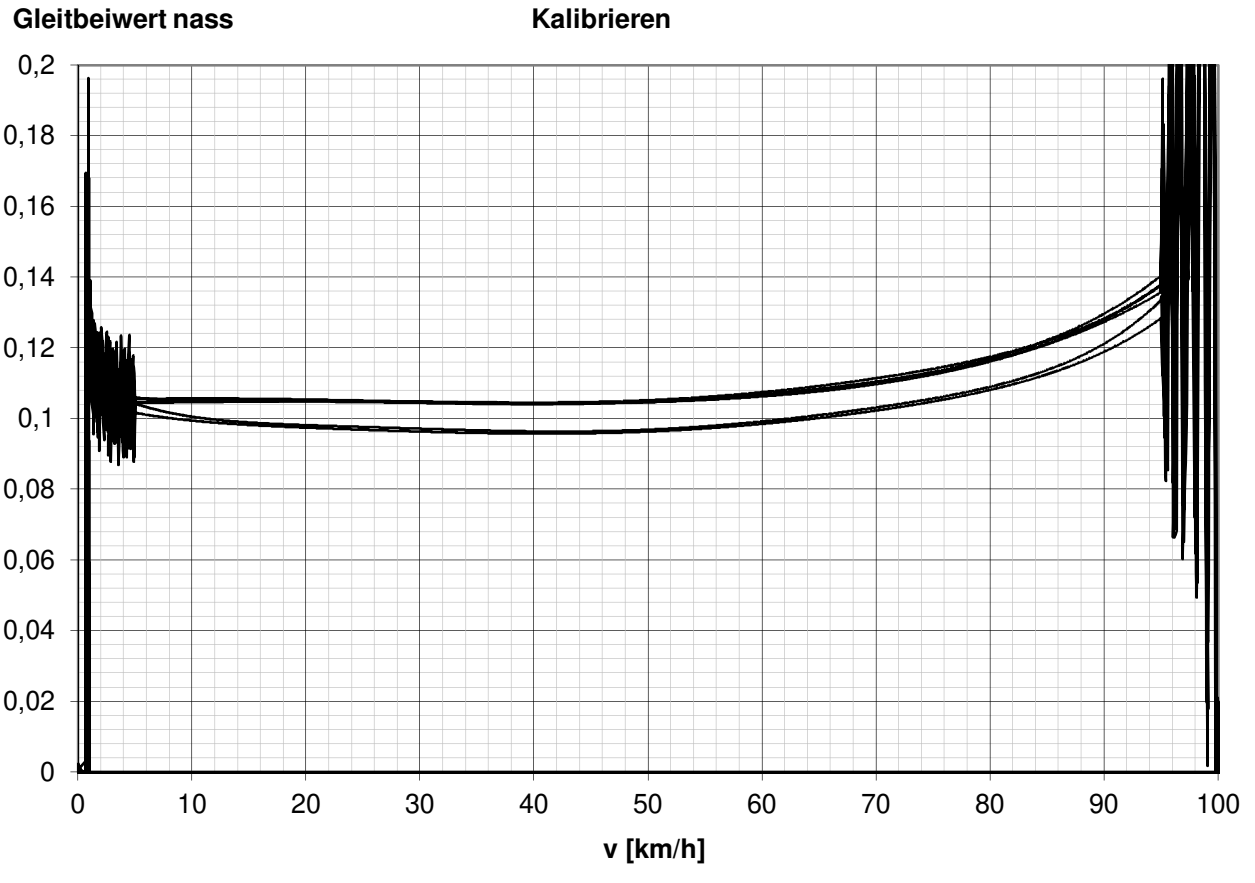
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U	
KAL 1.	03.05.2018 08:11	0	100,0	63,78	0,098	q = 56%	19,86L/min
KAL 2.	03.05.2018 08:13	0	100,0	65,11	0,099	q = 56%	19,86L/min
KAL 3.	03.05.2018 09:05	0	100,0	62,97	0,107	q = 70%	19,90L/min
KAL 4.	03.05.2018 09:40	0	100,0	64,63	0,106	q = 75%	19,88L/min
KAL 5.	03.05.2018 10:14	0	100,0	64,11	0,107	q = 80%	20,37L/min
KAL 6.	03.05.2018 10:47	0	100,0	62,51	0,107	q = 85%	20,03L/min
[0] 1.	03.05.2018 08:21	0	100,0	9,83	0,668	q = 56%	19,86L/min
[0] 2.	03.05.2018 09:16	0	100,0	10,02	0,663	q = 70%	19,90L/min
[0] 3.	03.05.2018 09:48	0	100,0	10,15	0,652	q = 75%	19,88L/min
[0] 4.	03.05.2018 10:23	0	100,0	10,11	0,654	q = 80%	20,37L/min
[0] 5.	03.05.2018 10:54	0	100,0	10,30	0,640	q = 85%	20,03L/min



PWS-Kalibrierung

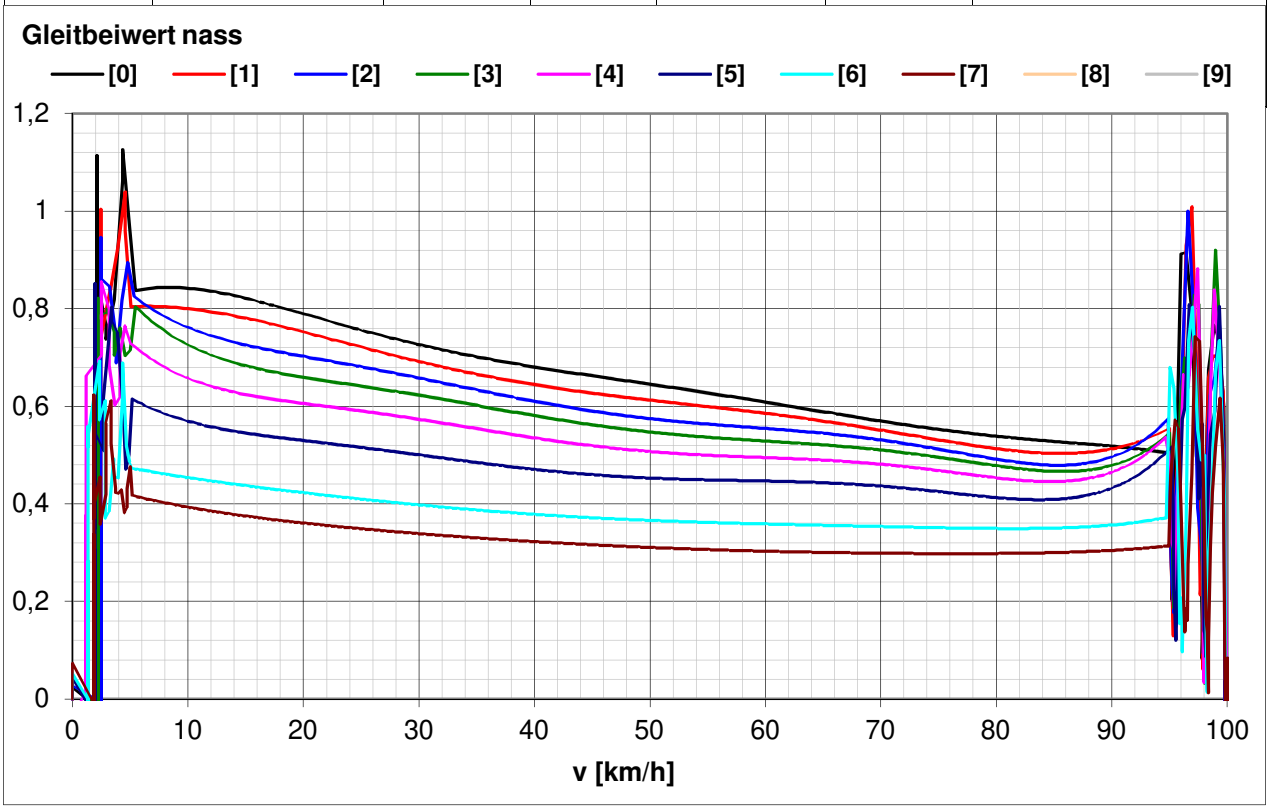
Probe	Ergebnis	Bemerkung





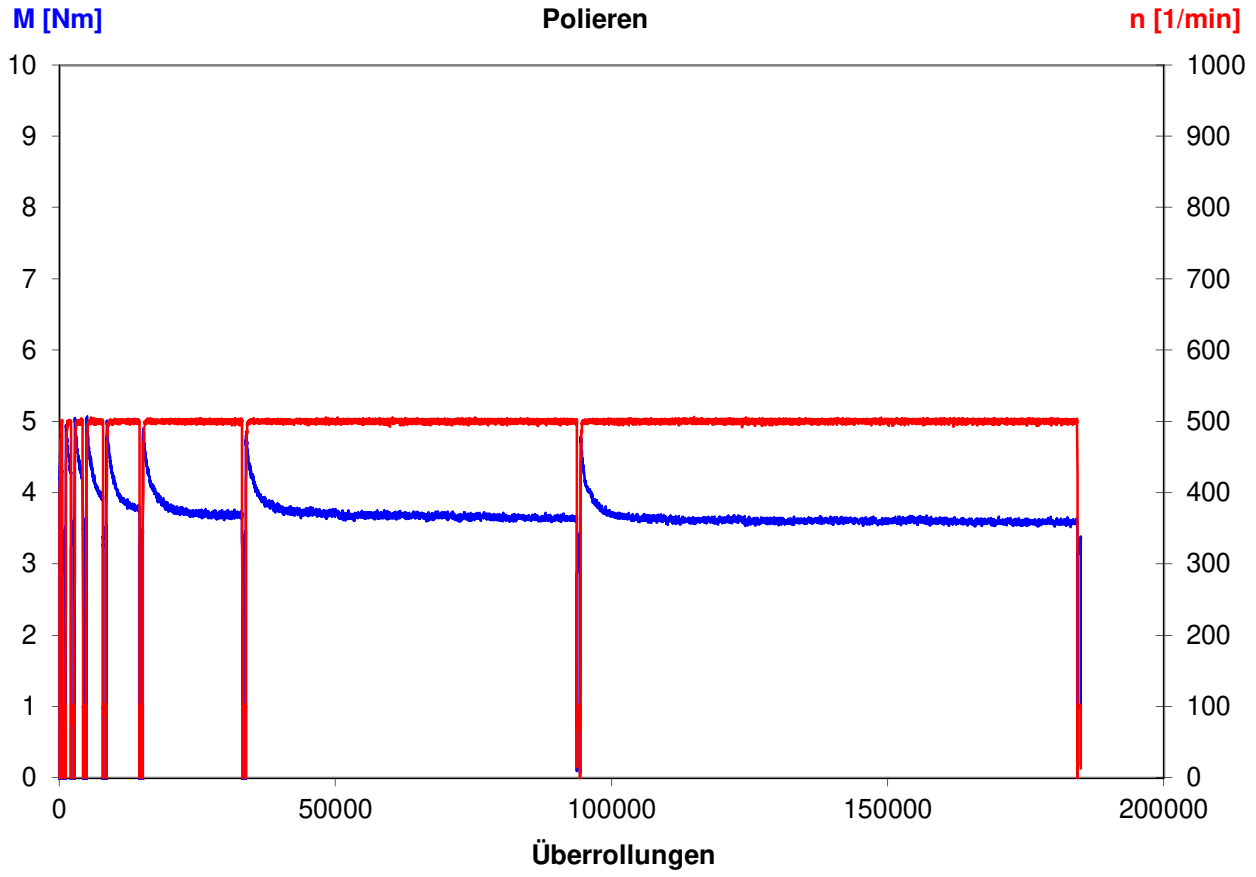
109_3

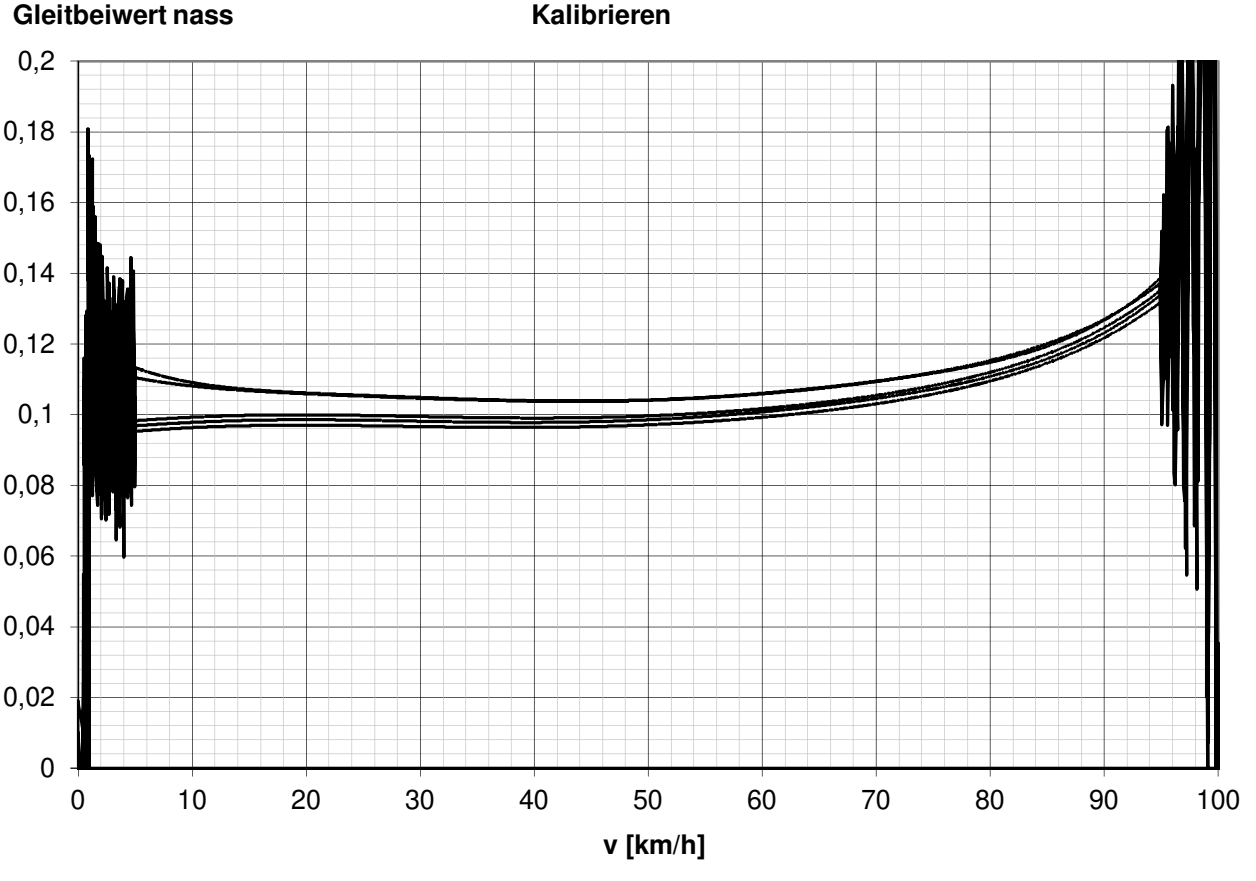
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U Neue Pumpe
KAL 1.	22.05.2018 08:26	0	100,0	60,90	0,106	
KAL 2.	22.05.2018 08:51	1119	100,0	63,06	0,106	
KAL 3.	22.05.2018 09:43	8478	100,0	67,14	0,102	
KAL 4.	22.05.2018 11:33	94356	100,0	67,30	0,101	
KAL 5.	22.05.2018 12:55	184983	100,0	68,62	0,099	
[0] 1.	22.05.2018 08:58	1119	100,0	10,94	0,608	
[1] 1.	22.05.2018 09:14	2739	100,0	11,48	0,585	
[2] 1.	22.05.2018 09:31	4857	100,0	12,14	0,554	
[3] 1.	22.05.2018 09:52	8478	100,0	12,75	0,529	
[4] 1.	22.05.2018 10:11	15102	100,0	13,78	0,495	
[5] 1.	22.05.2018 10:40	33729	100,0	15,51	0,447	
[6] 1.	22.05.2018 11:41	94356	100,0	19,22	0,359	
[7] 1.	22.05.2018 13:11	184983	100,0	22,47	0,303	



PWS-Kalibrierung

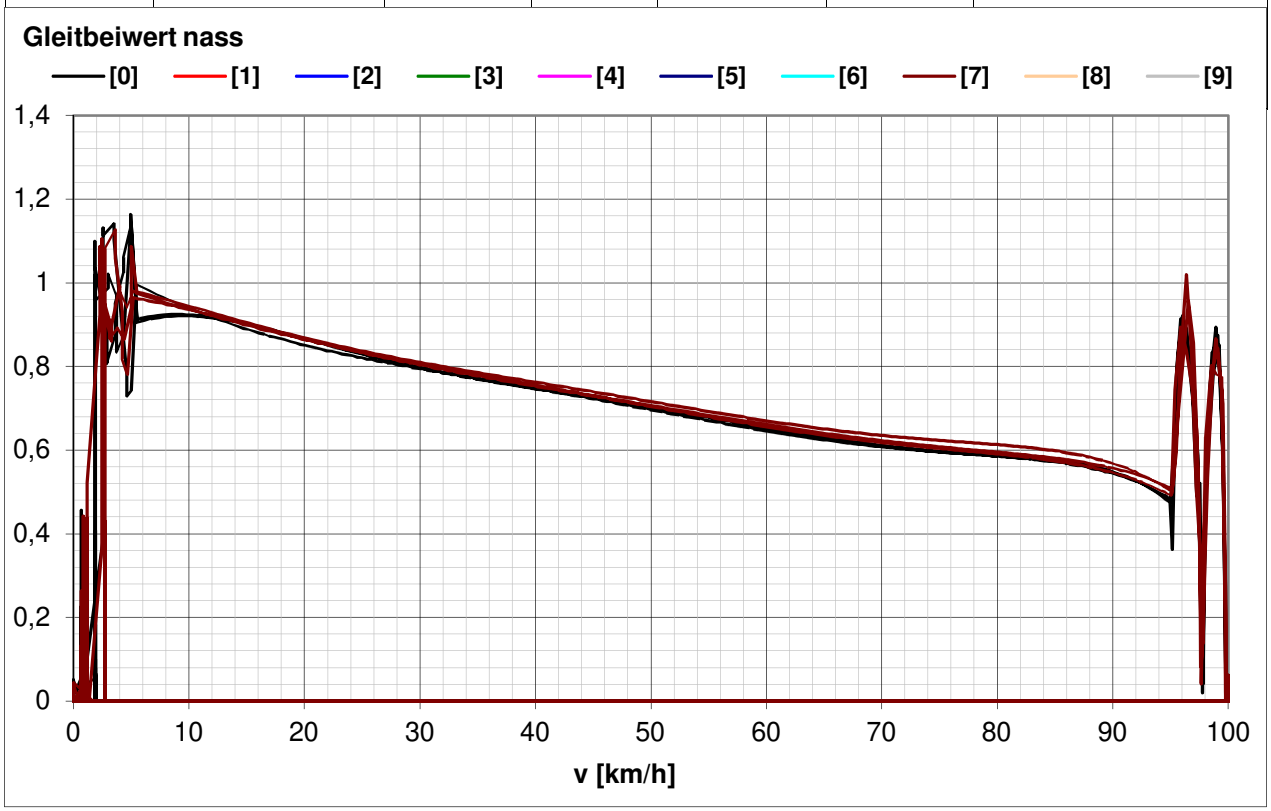
Probe	Ergebnis	Bemerkung





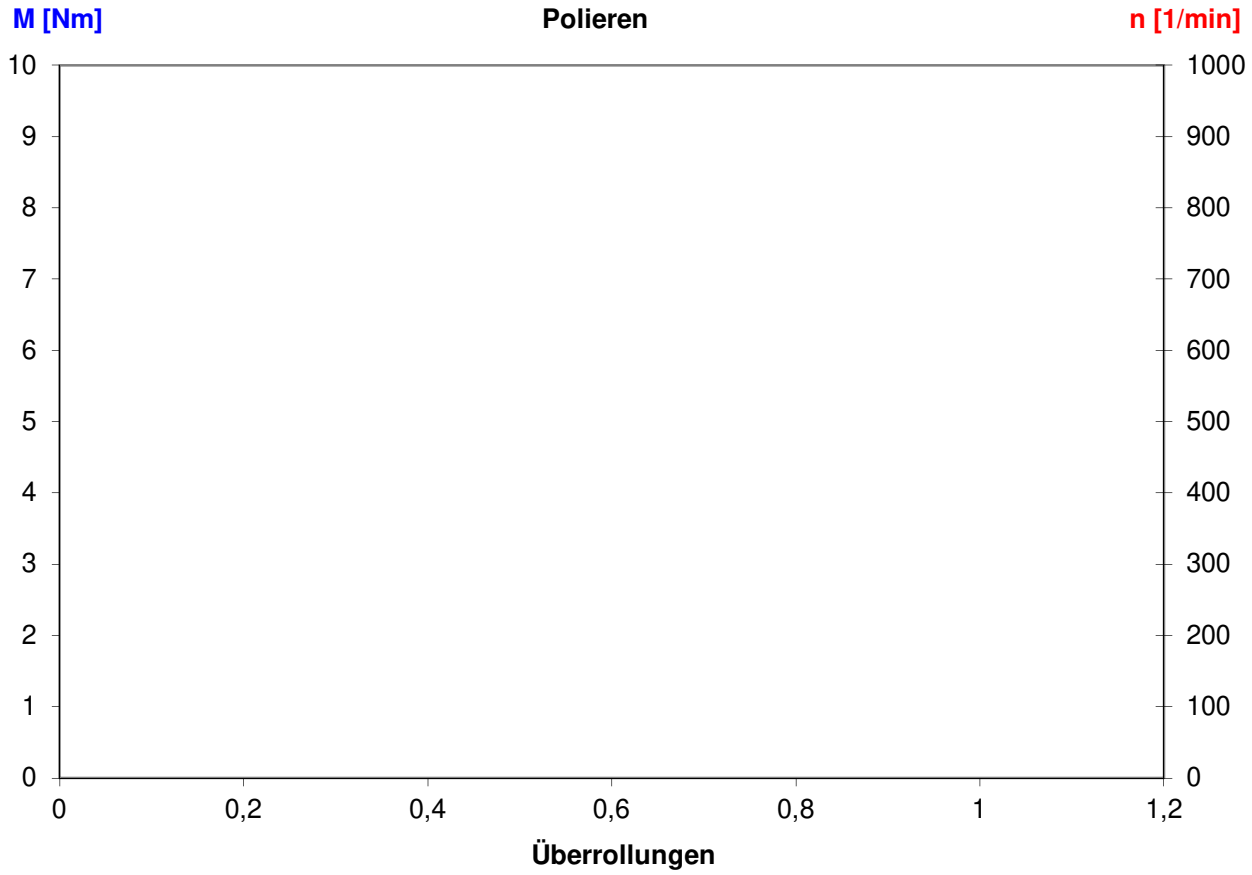
109_4

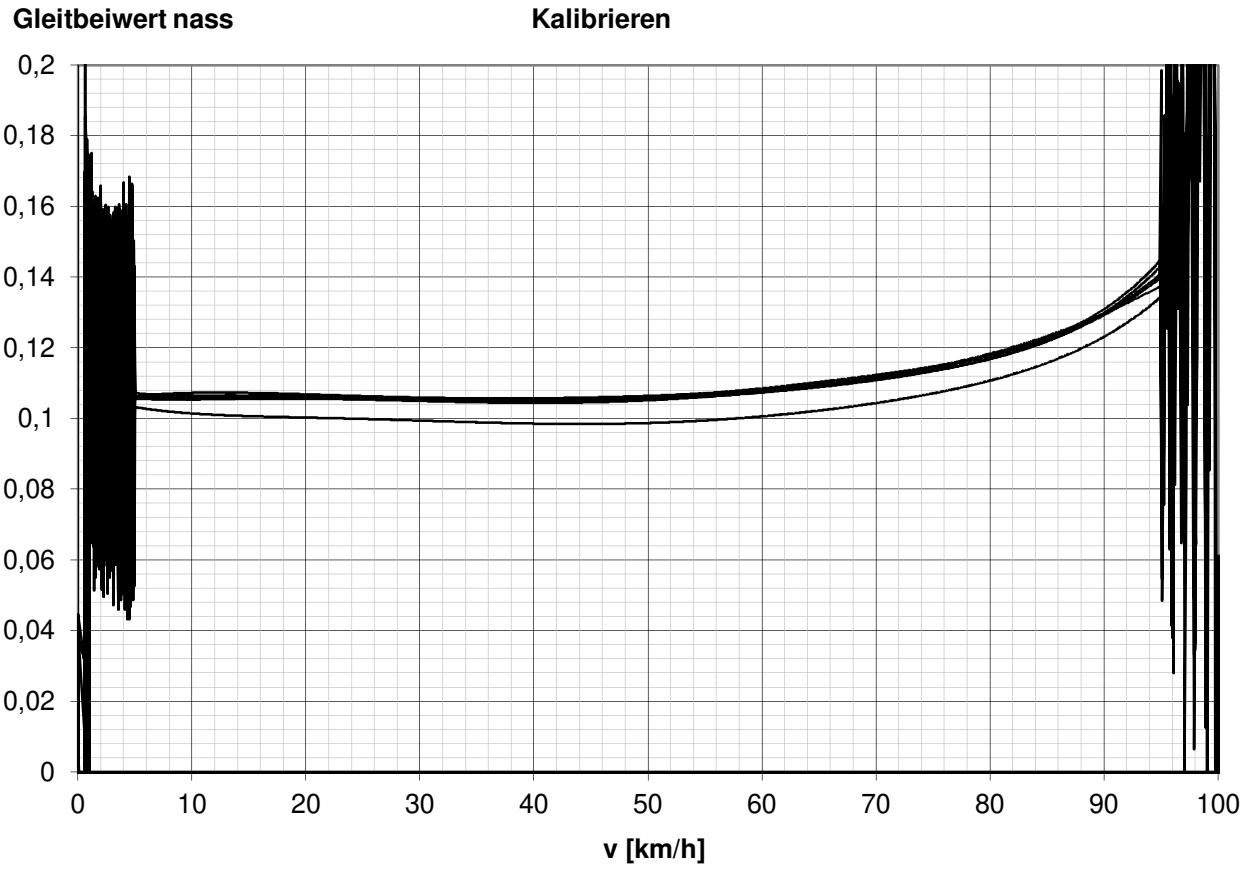
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	22.05.2018 13:53	0	100,0	66,81	0,101	
KAL 2.	22.05.2018 14:19	0	100,0	63,27	0,108	
KAL 3.	22.05.2018 14:47	0	100,0	60,43	0,109	
KAL 4.	22.05.2018 15:14	0	100,0	60,44	0,107	
KAL 5.	22.05.2018 15:49	0	100,0	57,75	0,108	
KAL 6.	22.05.2018 16:17	0	100,0	59,35	0,107	
[0] 1.	22.05.2018 14:00	0	100,0	9,91	0,661	
[0] 2.	22.05.2018 14:28	0	100,0	9,90	0,656	
[0] 3.	22.05.2018 14:56	0	100,0	9,78	0,670	
[0] 4.	22.05.2018 15:27	0	100,0	9,88	0,654	
[0] 5.	22.05.2018 15:56	0	100,0	9,91	0,653	
[0] 6.	22.05.2018 16:27	0	100,0	10,00	0,646	



PWS-Kalibrierung

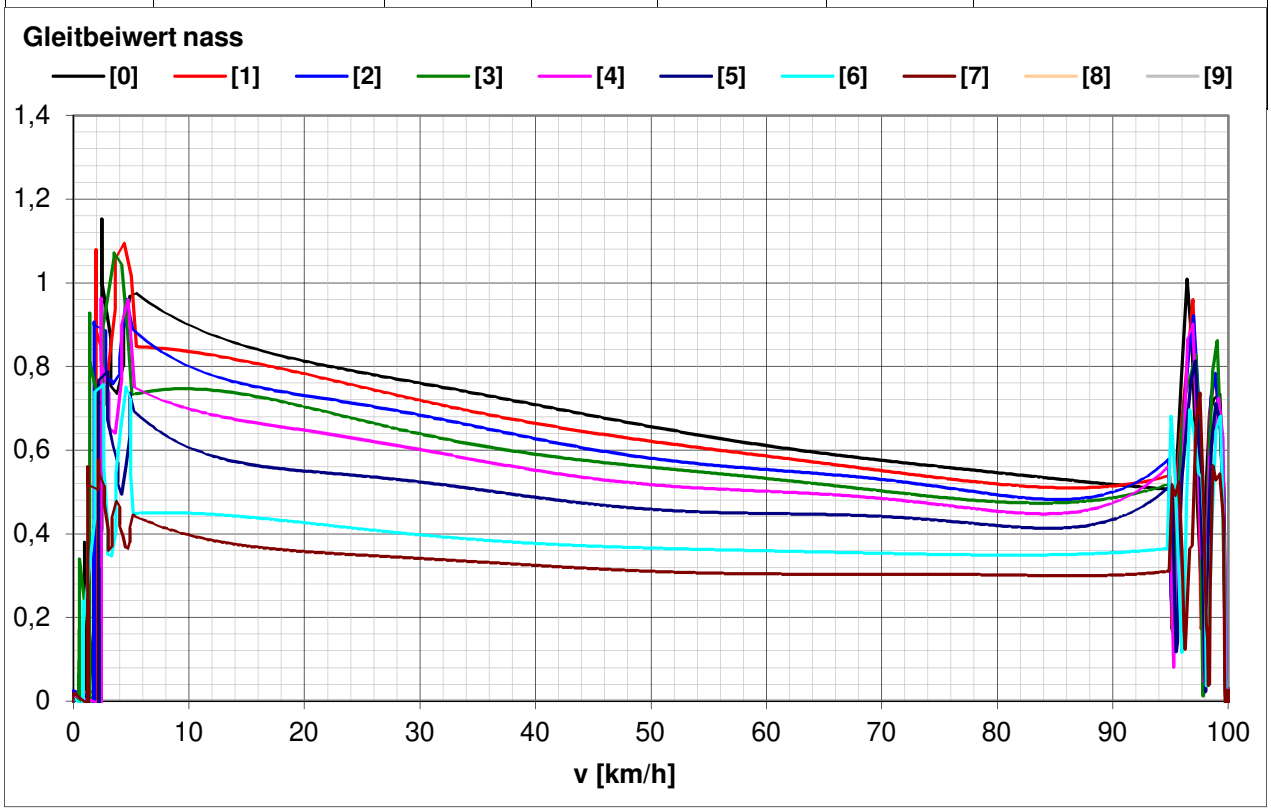
Probe	Ergebnis	Bemerkung





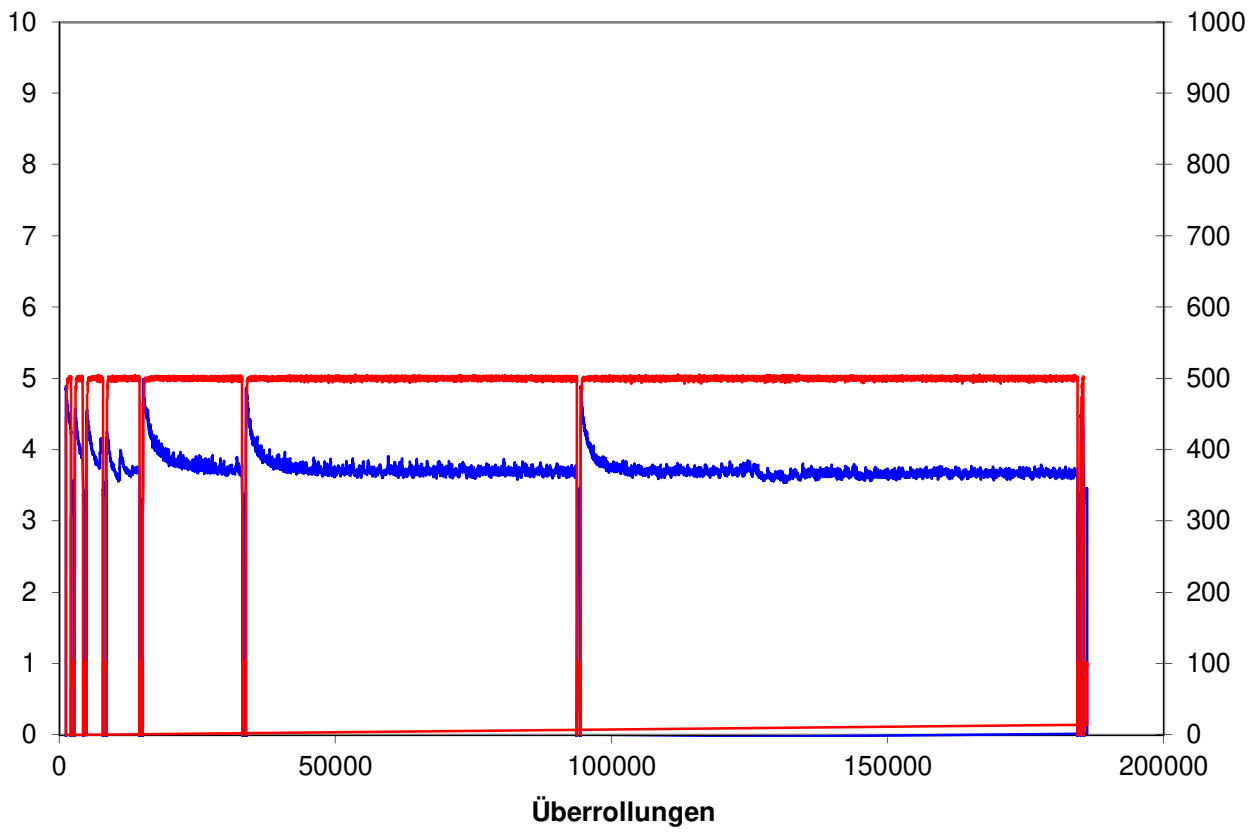
109_4

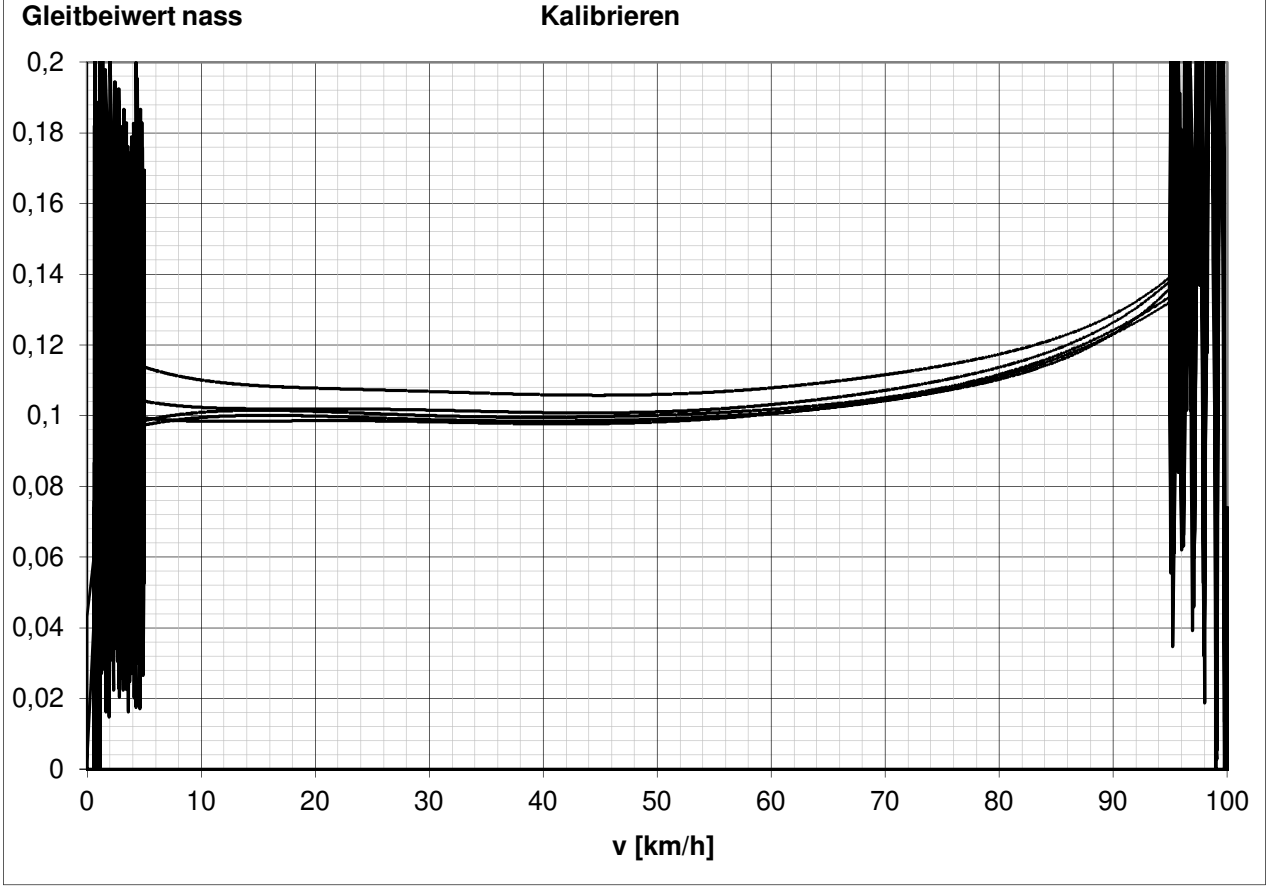
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	23.05.2018 08:18	1122	100,0	58,91	0,108	
KAL 2.	23.05.2018 09:20	8487	100,0	62,32	0,103	
KAL 3.	23.05.2018 10:13	33735	100,0	63,02	0,102	
KAL 4.	23.05.2018 11:15	94359	100,0	63,61	0,101	
KAL 5.	23.05.2018 12:39	184989	100,0	64,57	0,101	
[0] 1.	23.05.2018 08:27	1122	100,0	10,52	0,611	
[1] 1.	23.05.2018 08:46	2742	100,0	11,09	0,586	
[2] 1.	23.05.2018 09:07	4866	100,0	11,75	0,553	
[3] 1.	23.05.2018 09:28	8487	100,0	12,38	0,532	
[4] 1.	23.05.2018 09:49	15111	100,0	13,21	0,501	
[5] 1.	23.05.2018 10:22	33735	100,0	14,91	0,448	
[6] 1.	23.05.2018 11:25	94359	100,0	18,94	0,359	
[7] 1.	23.05.2018 12:48	184989	100,0	21,95	0,304	



PWS-Kalibrierung

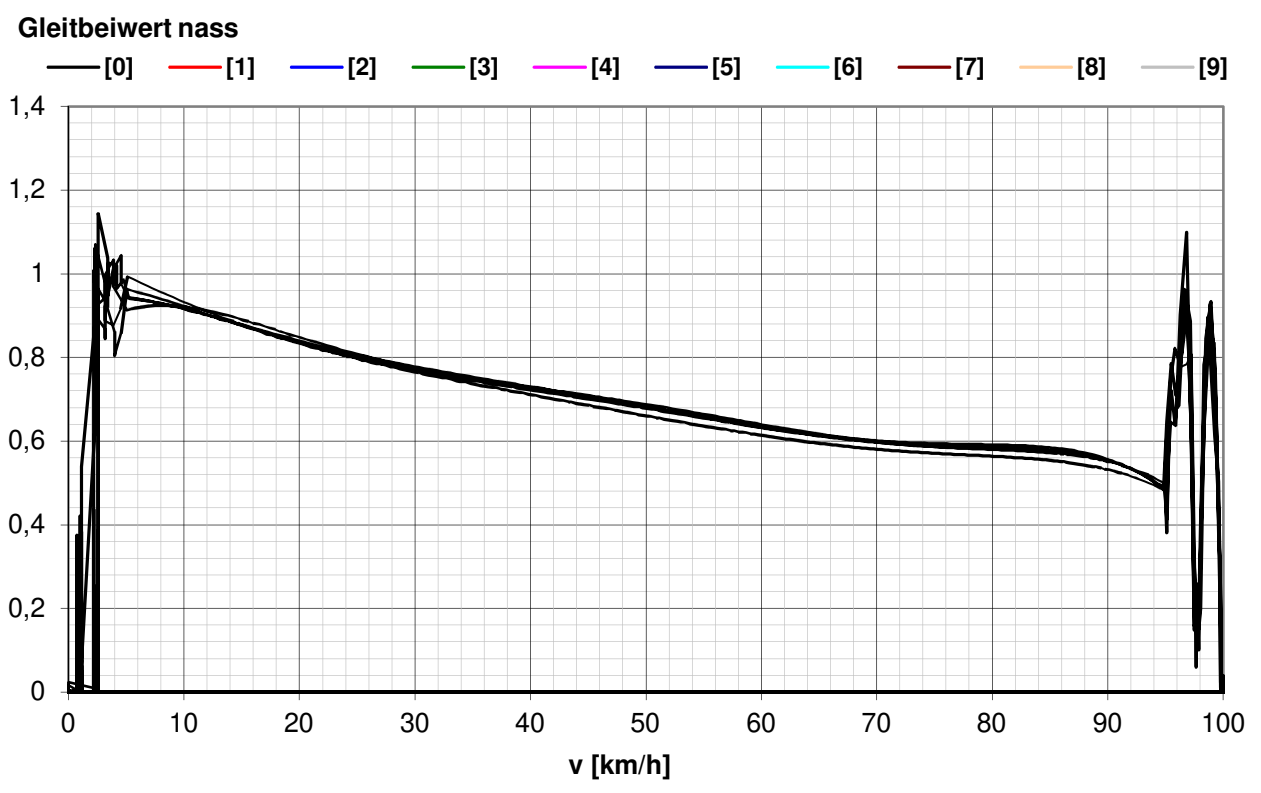
Probe	Ergebnis	Bemerkung





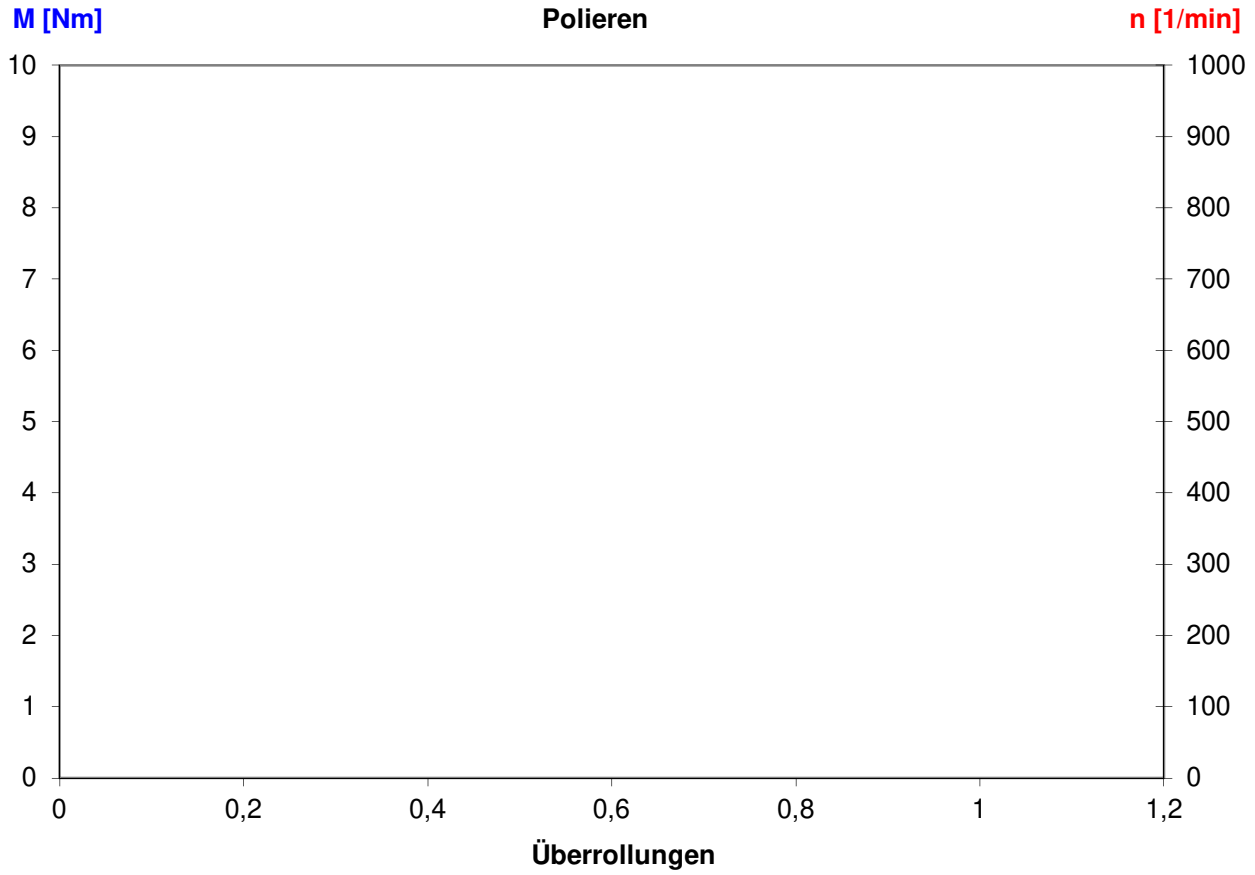
110_1

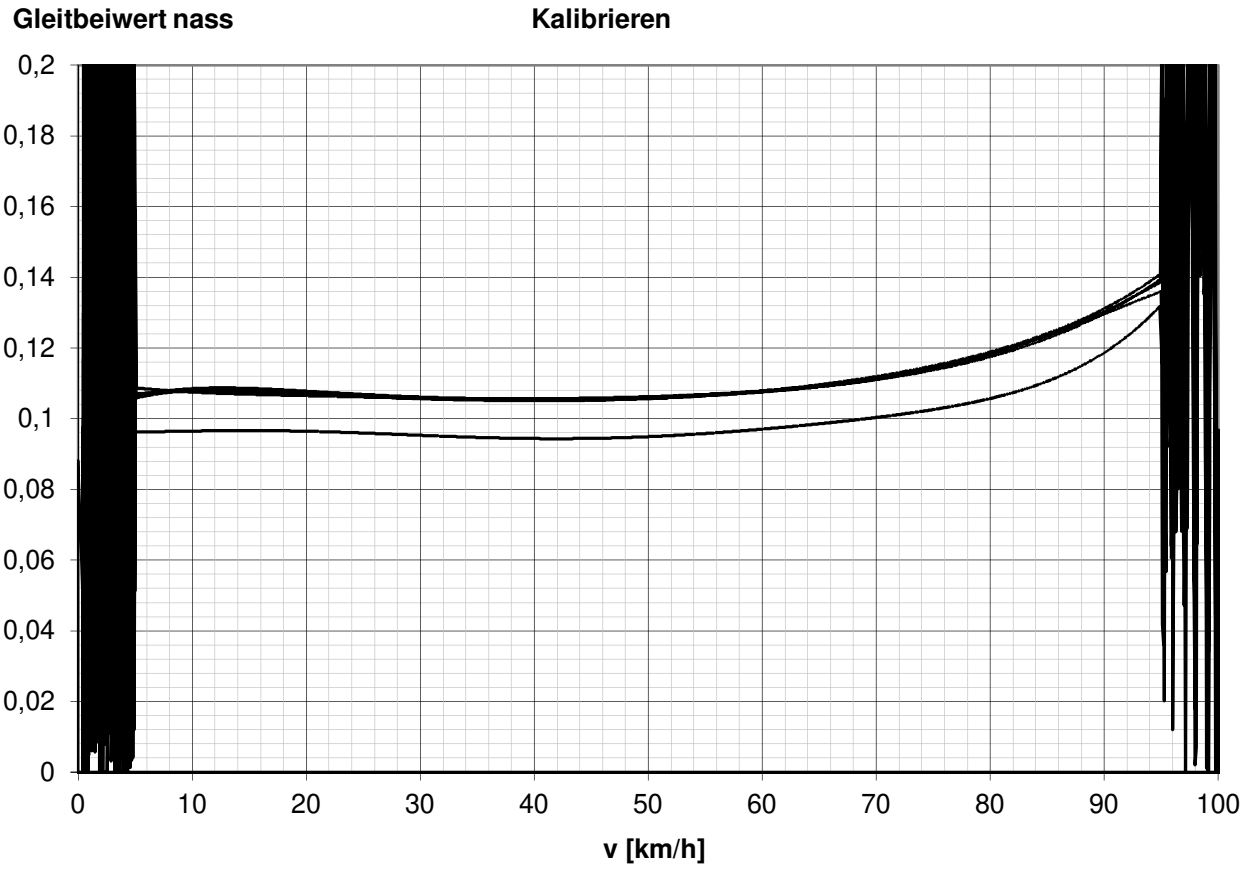
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	28.05.2018 08:23	0	100,0	65,64	0,097	
KAL 2.	28.05.2018 08:59	0	100,0	62,67	0,108	
KAL 3.	28.05.2018 09:32	0	100,0	63,19	0,108	
KAL 4.	28.05.2018 10:04	0	100,0	62,94	0,108	
KAL 5.	28.05.2018 10:38	0	100,0	60,14	0,108	
[0] 1.	28.05.2018 08:32	0	100,0	10,25	0,613	
[0] 2.	28.05.2018 09:07	0	100,0	9,94	0,639	
[0] 3.	28.05.2018 09:41	0	100,0	10,05	0,633	
[0] 4.	28.05.2018 10:12	0	100,0	10,01	0,634	
[0] 5.	28.05.2018 10:47	0	100,0	10,08	0,633	



PWS-Kalibrierung

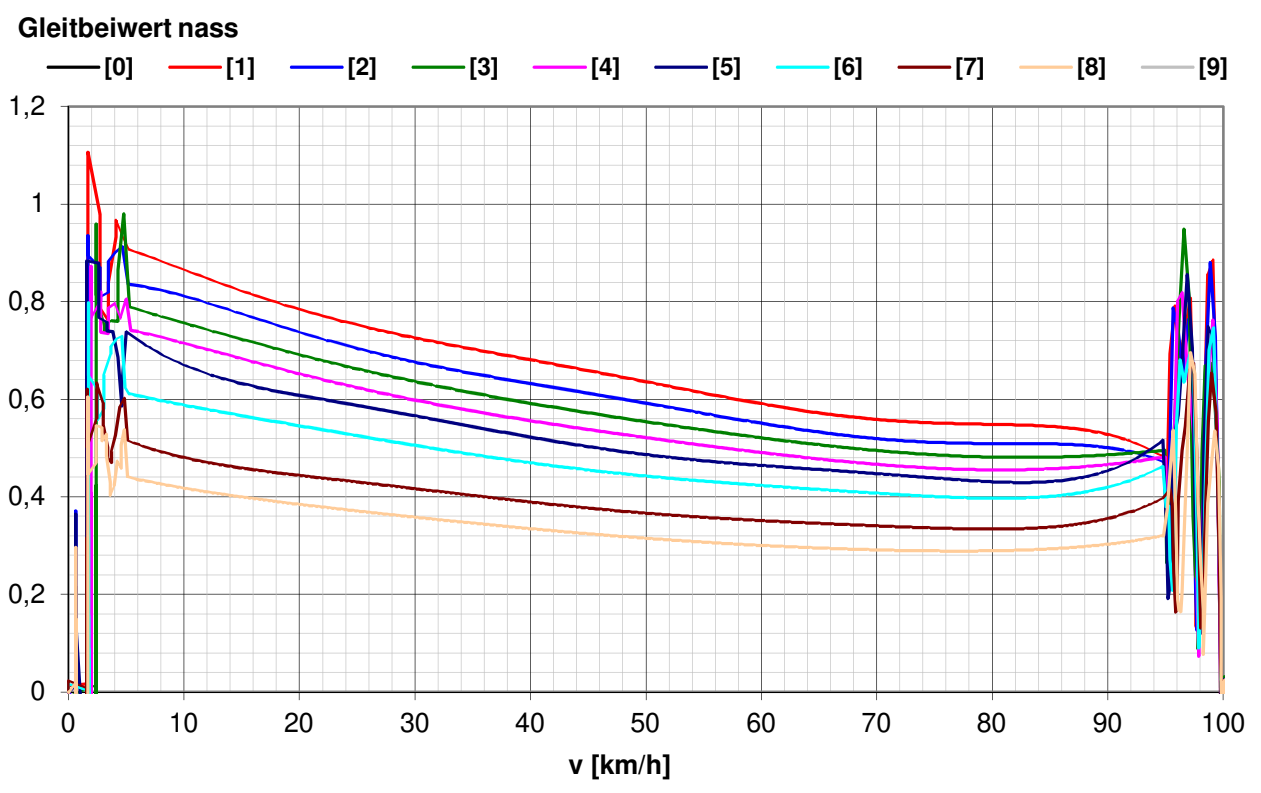
Probe	Ergebnis	Bemerkung





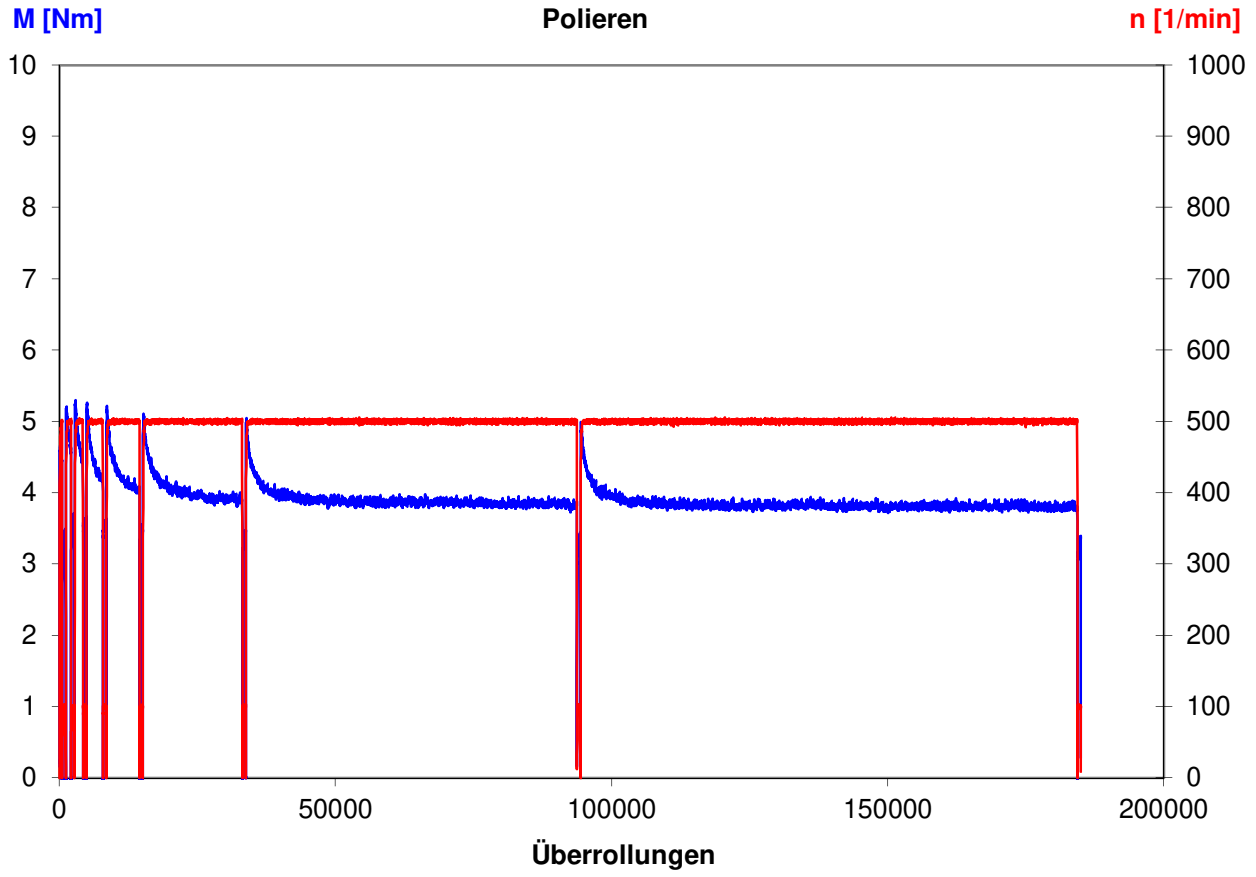
110_1

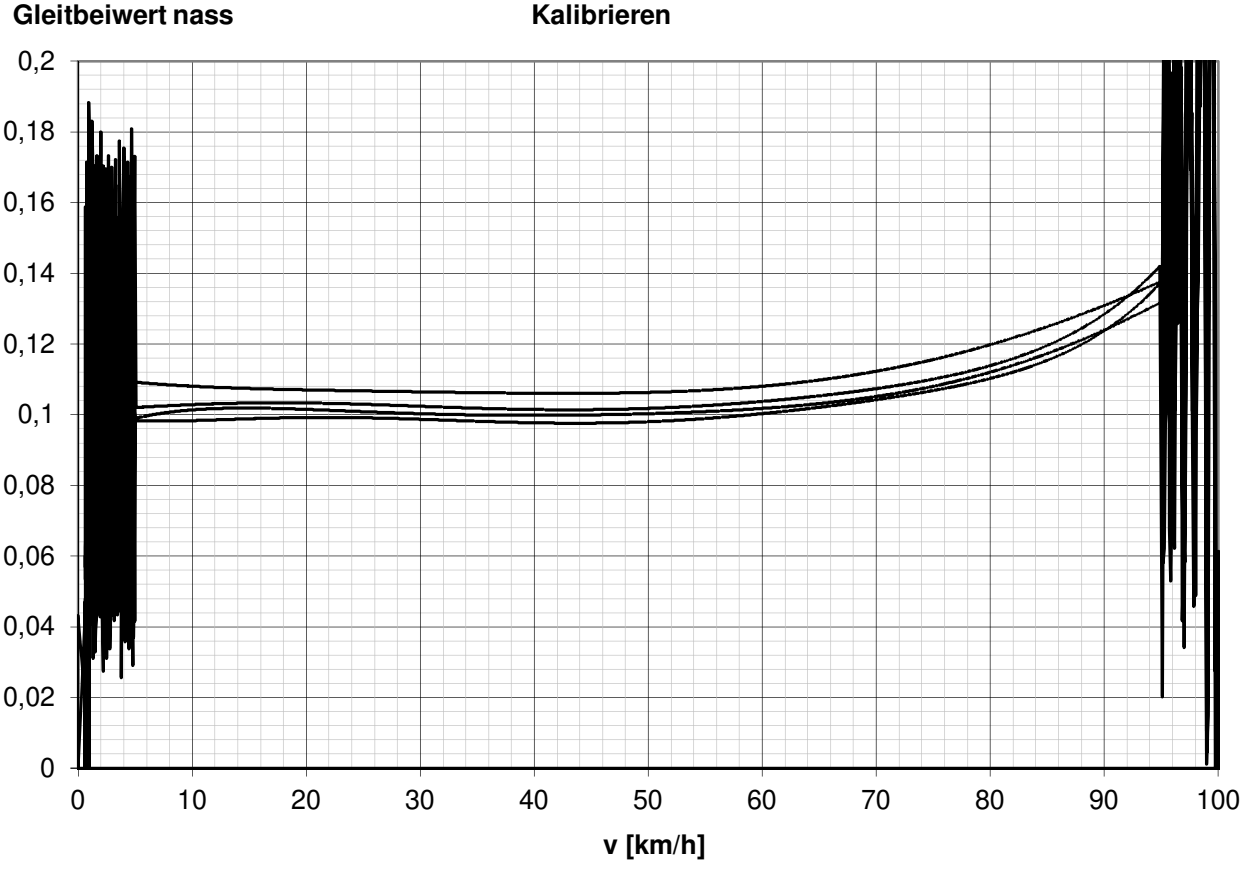
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	28.05.2018 11:02	1122	100,0	60,54	0,108	
KAL 2.	28.05.2018 11:52	8481	100,0	62,51	0,104	
KAL 3.	28.05.2018 13:35	94359	100,0	63,04	0,102	
KAL 4.	28.05.2018 15:03	184986	100,0	63,84	0,100	
[1] 1.	28.05.2018 11:10	1122	100,0	10,77	0,590	
[2] 1.	28.05.2018 11:26	2739	100,0	11,53	0,551	
[3] 1.	28.05.2018 11:40	4860	100,0	12,28	0,521	
[4] 1.	28.05.2018 12:00	8481	100,0	13,02	0,491	
[5] 1.	28.05.2018 12:18	15108	100,0	13,84	0,464	
[6] 1.	28.05.2018 12:45	33732	100,0	15,34	0,423	
[7] 1.	28.05.2018 13:53	94359	100,0	18,48	0,351	
[8] 1.	28.05.2018 15:12	184986	100,0	21,31	0,300	



PWS-Kalibrierung

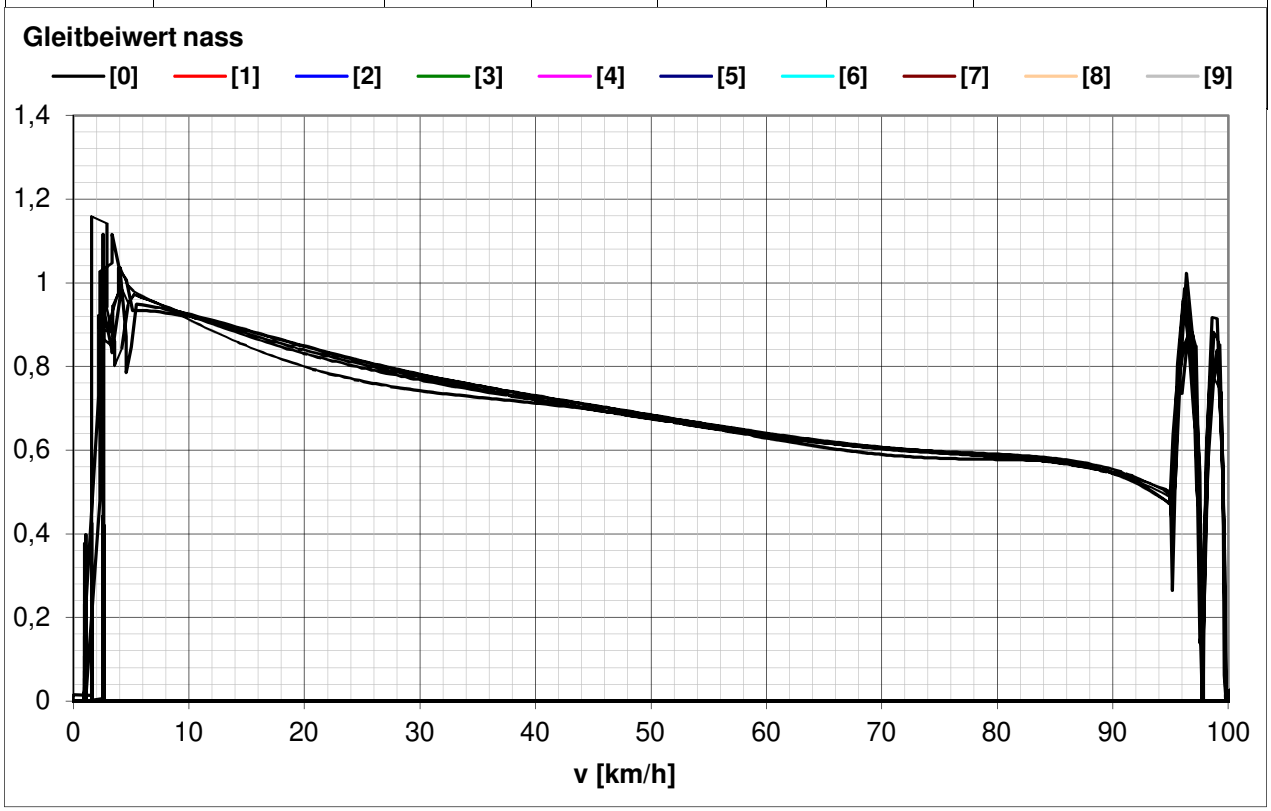
Probe	Ergebnis	Bemerkung





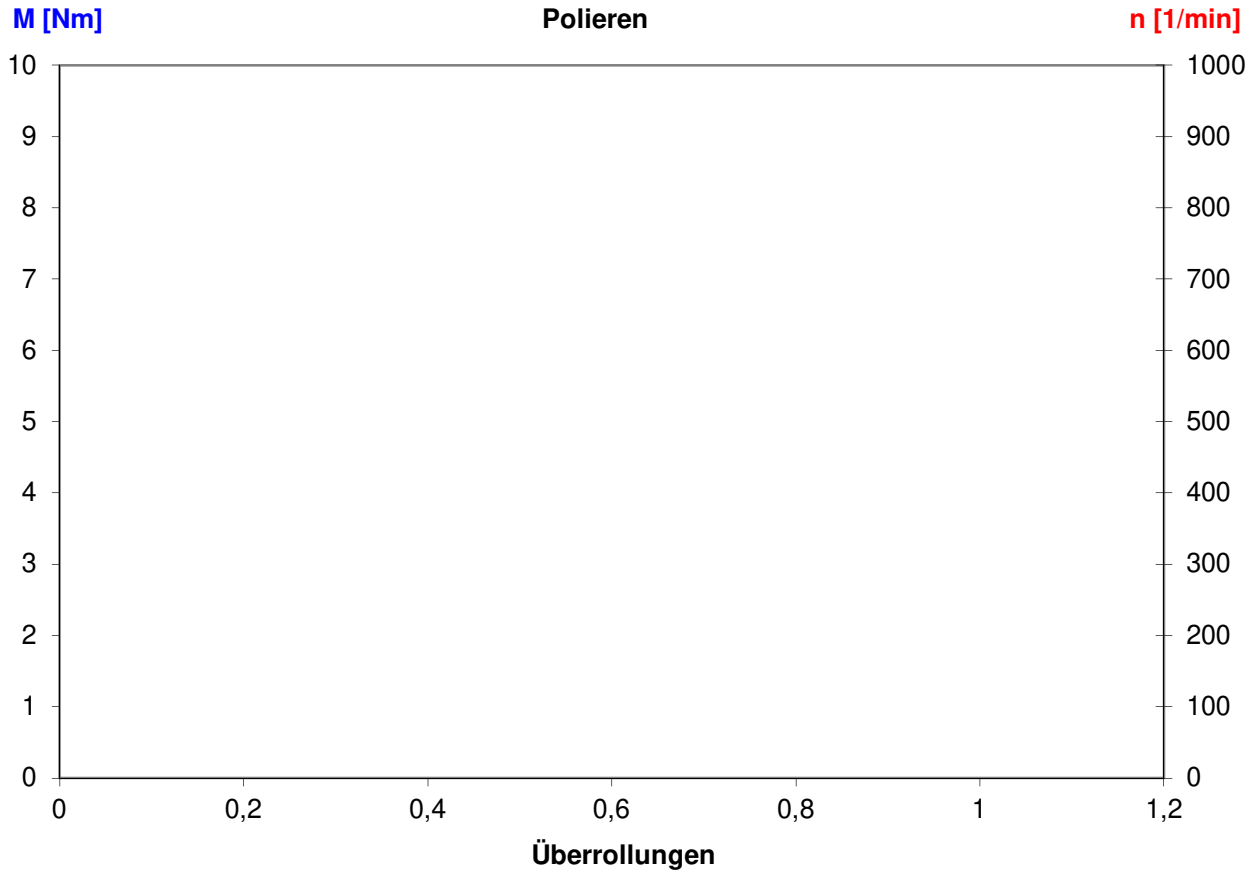
110_2

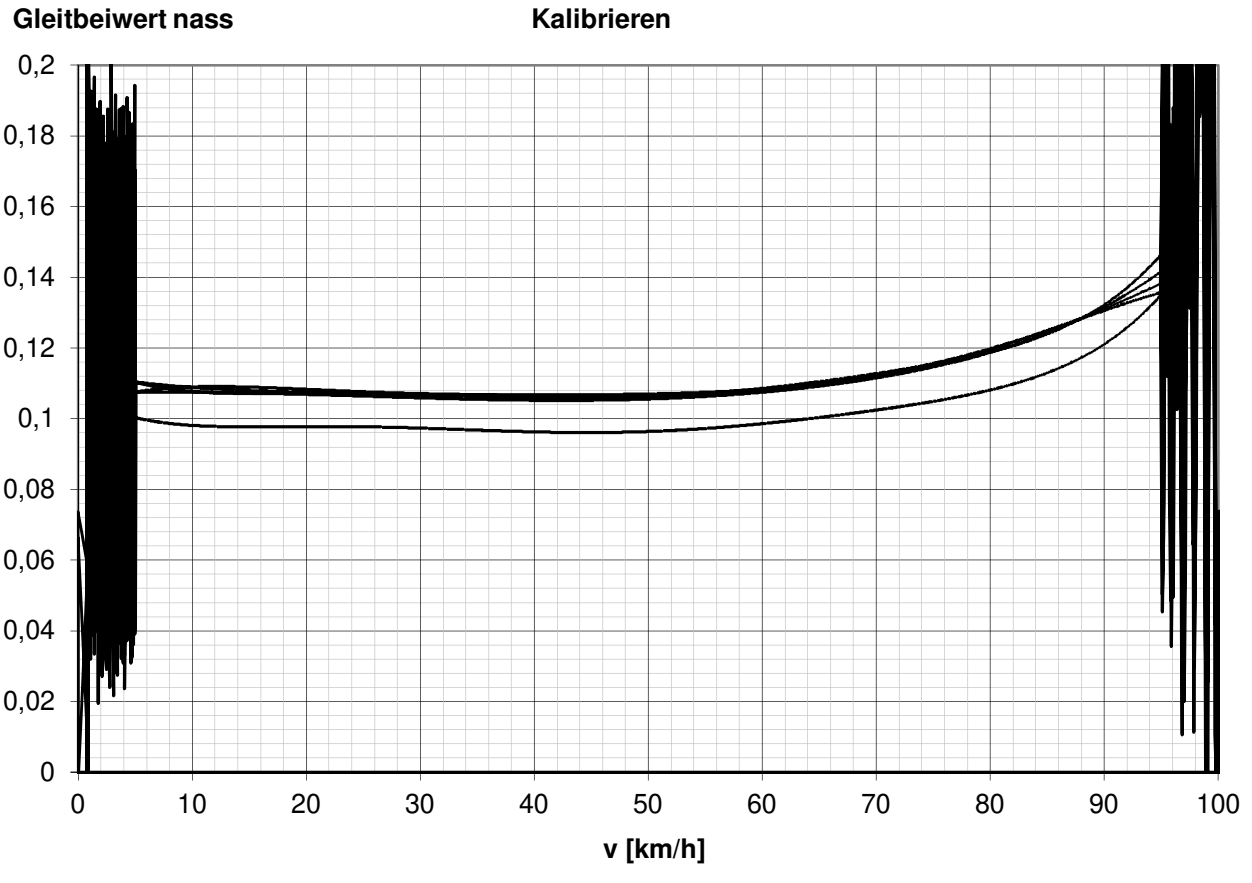
Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	29.05.2018 07:55	0	100,0	63,30	0,099	
KAL 2.	29.05.2018 08:24	0	100,0	58,32	0,108	
KAL 3.	29.05.2018 08:54	0	100,0	58,37	0,108	
KAL 4.	29.05.2018 09:24	0	100,0	59,06	0,109	
KAL 5.	29.05.2018 09:57	0	100,0	59,45	0,107	
[0] 1.	29.05.2018 08:02	0	100,0	10,27	0,629	
[0] 2.	29.05.2018 08:32	0	100,0	10,13	0,634	
[0] 3.	29.05.2018 09:02	0	100,0	10,10	0,635	
[0] 4.	29.05.2018 09:32	0	100,0	10,01	0,640	
[0] 5.	29.05.2018 10:11	0	100,0	10,03	0,638	



PWS-Kalibrierung

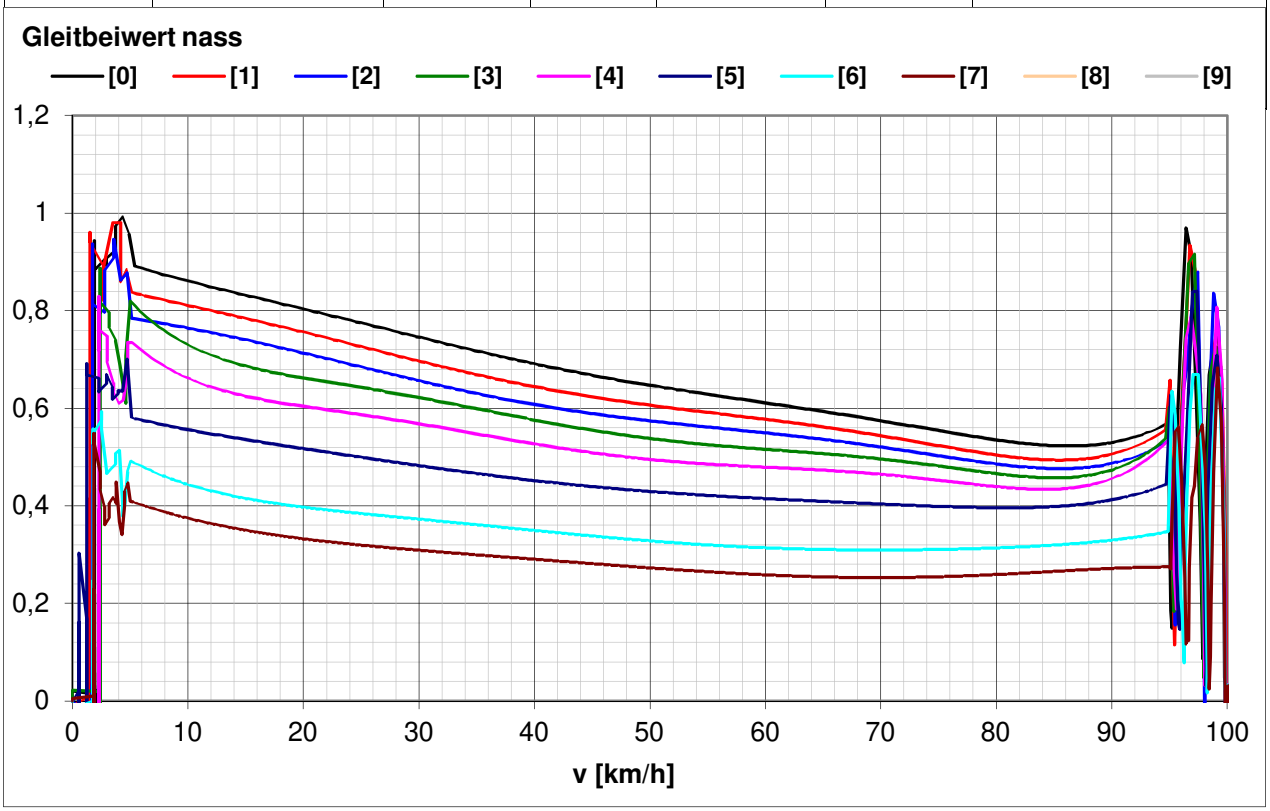
Probe	Ergebnis	Bemerkung

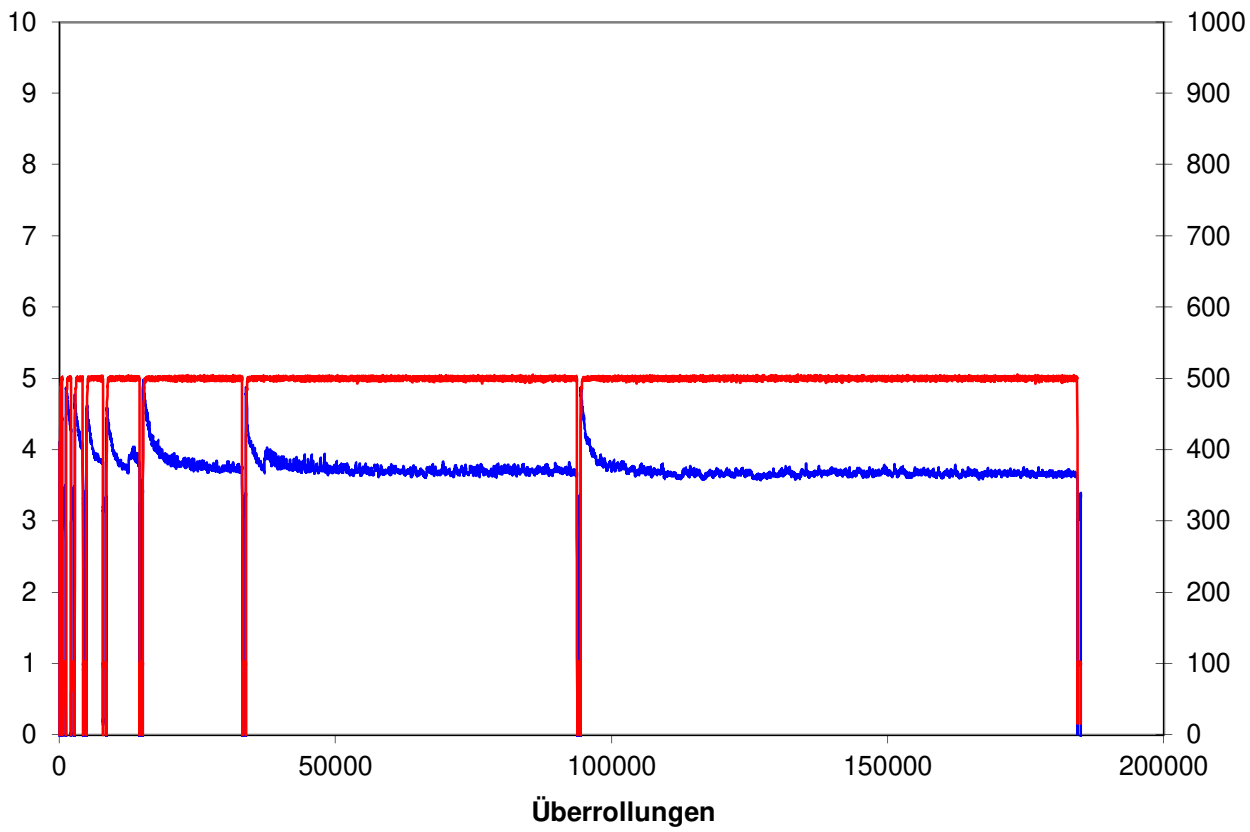
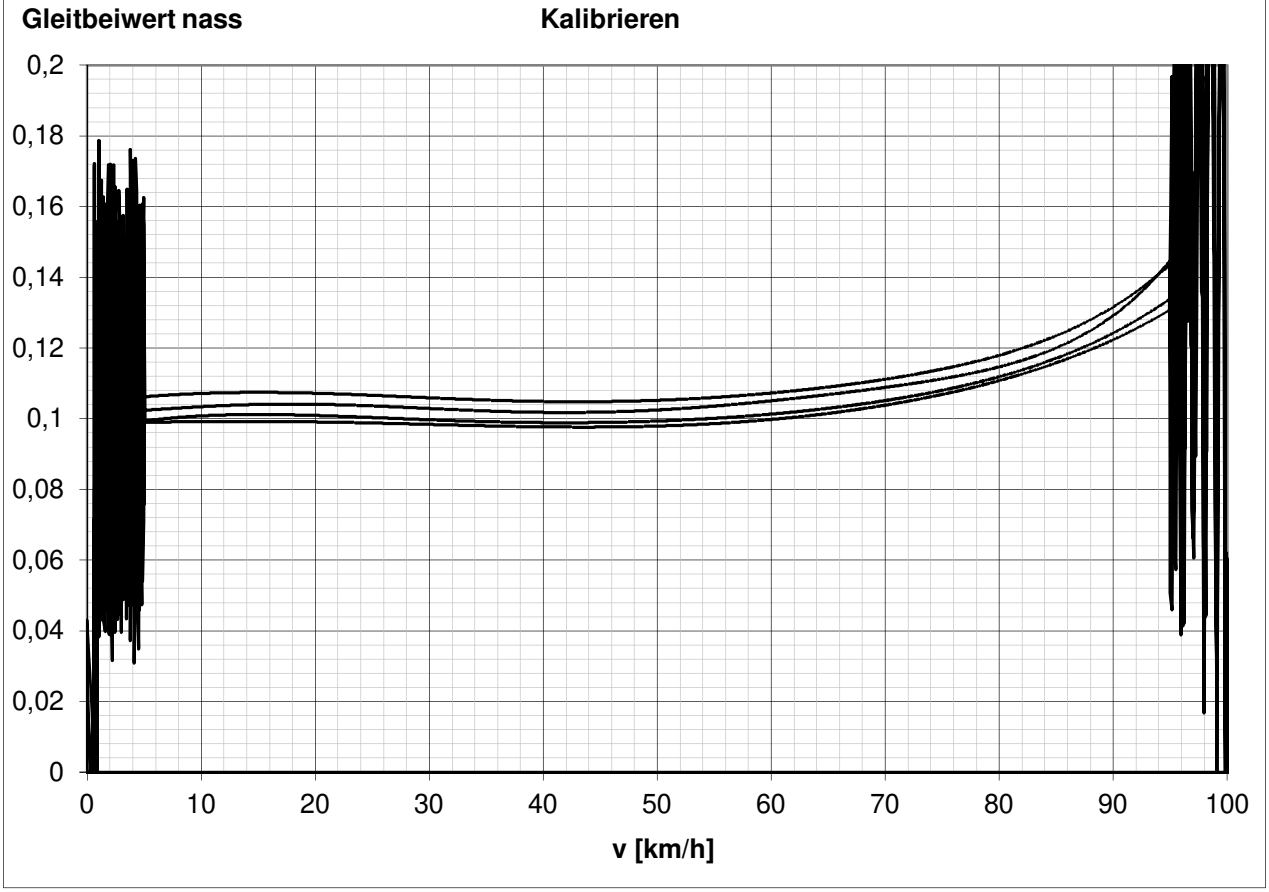




110_2

Messung	Datum	Überrollung.	v start [km/h]	Bremsweg [m] von/bis km/h 60 5	Reibwert bei km/h 60	Bemerkungen F88U
KAL 1.	29.05.2018 10:24	1122	100,0	59,33	0,107	
KAL 2.	29.05.2018 11:16	8487	100,0	62,65	0,105	
KAL 3.	29.05.2018 12:58	94362	100,0	64,28	0,101	
KAL 4.	29.05.2018 14:16	184989	100,0	63,74	0,100	
[0] 1.	29.05.2018 10:34	1122	100,0	10,57	0,611	
[1] 1.	29.05.2018 10:48	2739	100,0	11,25	0,577	
[2] 1.	29.05.2018 11:04	4863	100,0	11,96	0,549	
[3] 1.	29.05.2018 11:24	8487	100,0	12,61	0,516	
[4] 1.	29.05.2018 11:43	15108	100,0	13,77	0,479	
[5] 1.	29.05.2018 12:08	33735	100,0	15,97	0,415	
[6] 1.	29.05.2018 13:06	94362	100,0	20,61	0,314	
[7] 1.	29.05.2018 14:25	184989	100,0	24,51	0,258	



PWS-Kalibrierung

Probe	Ergebnis	Bemerkung