



DEUTSCHER SCHRAUBENVERBAND E.V.
HERSTELLER MECHANISCHER VERBINDUNGSELEMENTE

Arbeitskreis Oberflächenschutzsysteme

DSV-Ringversuch 2023 Reibungszahlen

Bastian Bußmann
Thomas Schmidt
Michael Stähler
31.07.2024



Arbeitskreis Oberflächenschutzsysteme

1 Einleitung

Die quantitative Kenntnis der Reibungszahlen ist eine wesentliche Voraussetzung zur Berechnung und prozesssicheren Montage von Schraubenverbindungen, um eine für den Anwendungsfall passende Vorspannkraft sicherzustellen. Die Ermittlung der Reibungszahlen erfolgt mit Sensoren, welche die Größen Vorspannkraft F , Anziehdrehmoment T , Reibungsdrehmoment in der Auflagefläche T_b und / oder Gewindemoment T_{th} erfassen können. Die Norm DIN EN ISO 16047 [2] macht nur Angaben zur Prüfung selbst, den Referenzteilen und den zu verwendenden Formeln zur Berechnung der Reibungszahlen. Quantitative Vorgaben für Reibungszahlen in praktischen Anwendungen einschließlich der Wiederholmontage sind z. B. im VDA-Prüfblatt VDA 235-101 [1] enthalten.

Für die Konstruktion und die Funktion der verwendeten Sensoren stellt die Norm DIN EN ISO 16047 [2] nur prinzipielle Anforderungen. Somit sind heute vielfältige und unterschiedliche Prüfeinrichtungen in der Praxis im Einsatz, was sich für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse als nicht einfach erweist. Die in der Vergangenheit im *Arbeitskreis Oberflächenschutzsysteme* des Deutschen Schraubenverbandes sowie im Rahmen der *Arbeitsgruppe ISO/TC 2/SC 11 + SC12 Ad hoc Group* durchgeführten Ringversuche (2023, im Rahmen der Revision der ISO 16047) belegen, dass eine befriedigende Lösung zur einwandfreien Bestimmung und zum Vergleich von Reibungszahlen bisher noch nicht gefunden wurde.

2 Zielstellungen

Mit dem Ringversuch 2023 wurde die Reihe der Ringversuche zur Bestimmung der Fähigkeit von Prüfständen/Sensoren zur Ermittlung von Reibungszahlen mechanischer Verbindungselemente fortgesetzt. Ziel des Ringversuches 2023 war es zusätzlich, das Verhalten der Messeinrichtungen bei Mehrfachverschraubungen zu erfassen, sowie verschiedene Gewindenenn Durchmesser und somit auch Sensoren mit verschiedenen Kapazitäten zu beurteilen und innerhalb der Gewindenenn Durchmesser zu vergleichen.

Wie auch schon beim Ringversuch 2014 bestanden die Ziele in der Erfassung der Praxistauglichkeit, angelehnt an DIN EN ISO 16047 und VDA 235-101, sowie der Bestimmung der Fähigkeit von Sensoren bei der Ermittlung von Reibungszahlen.

3 Aufgabenstellung

Die Versuche wurden an Schrauben verschiedener Abmessungen durchgeführt, um einer größeren Anzahl von Anwendern die Gelegenheit zu bieten, ihre Sensoren zuordnen zu können. Waren in der Vergangenheit die Versuche immer auf das Gewindenennmaß M10 beschränkt, so wurden diesmal auch eine kleinere Gewindeabmessung (M6) und eine größere Gewindeabmessung (M24) geprüft, so dass insgesamt wesentlich mehr Sensoren erfasst werden konnten.

Mit dem Ringversuch wurde eine hinreichend große Menge an Versuchsergebnissen geschaffen, um einzelne Sensoren an einer Grundgesamtheit zu prüfen.



Arbeitskreis Oberflächenschutzsysteme

4 Versuchsteile

Gewindenmaß M6:

Prüfschraube

Bezeichnung: ASA-Flanschschraube M6 x 40 - 10.9
Beschichtungssystem: ZnNi sw + Schmiermittel

Referenzmutter

Bezeichnung: Sechskantmutter M6 – 10, DIN EN ISO 4032 [3]
Oberflächenzustand: blank, gereinigt nach DIN EN ISO 16047 [2]

Referenzgegenlage

Bezeichnung: Scheibe HH
Oberflächenzustand: blank, gereinigt nach DIN EN ISO 16047 [2]

Gewindenmaß M10:

Prüfschraube

Bezeichnung: Sechskantflanschschraube M10 x 60 - 10.9
Beschichtungssystem: ZnNi sw + Schmiermittel

Referenzmutter

Bezeichnung: Sechskantmutter M10 – 10, DIN EN ISO 4032 [3]
Oberflächenzustand: blank, gereinigt nach DIN EN ISO 16047 [2]

Referenzgegenlage (1-stufiger Vers., 20 U/min / 2-stufiger Vers., 200/20 U/min)

Bezeichnung: KTL-Leiste, vor Versuch mit Alkohol abzuputzen

Gewindenmaß M24:

Prüfschraube

Bezeichnung: Sechskantschraube M24 x 120 - 10.9
Beschichtungssystem: ZnNi sw + Schmiermittel

Referenzmutter

Bezeichnung: Sechskantmutter M24 – 10, DIN EN ISO 4032 [3]
Beschichtungssystem: ZnNi sw + Schmiermittel

Referenzgegenlage

Bezeichnung: Scheibe HH
Oberflächenzustand: blank, gereinigt nach DIN EN ISO 16047 [2]

Die laut DIN EN ISO 16047 [2] vorgeschriebene Reinigung der Referenzteile wurde vorab zentral vorgenommen.

Nach der Reinigung wurden die Muttern und die Scheiben luftdicht eingeschweißt.



Arbeitskreis Oberflächenschutzsysteme

5 Versuchsdurchführung

Je Sensor war eine Versuchsreihe mit 25 Einzelversuchen (M6 / M10) bzw. 20 Einzelversuchen durchzuführen. Die Referenzmuttern und -scheiben waren während des Anziehvorgangs gegen Verdrehen zu sichern. Die KTL-Referenzleiste war in einer passenden Vorrichtung aufzunehmen.

Die Versuchsdurchführung erfolgte nach den Vorgaben der DIN EN ISO 16047 [2]. Entsprechend der Gewindeabmessung und der Festigkeit der Prüfschraube wurde die Vorspannkraft am Abschaltpunkt bei $F = 80\% F_p$ und beim Auswertepunkt auf $F = 75\% F_p$ festgelegt. Die entsprechenden Werte waren der jeweiligen Auswertevorlage zu entnehmen.

Für alle Messungen wurde ein einheitliches automatisiertes Auswerteschema vorgegeben, dass die Umrechnung der einzugebenden Werte der Vorspannkraft F und der Drehmomente in die Reibungszahlen automatisch durchführte. Die Teilnehmer wurden aufgefordert, die Tragbilddurchmesser selbst zu messen und in das Auswerteschema einzugeben. Diese Werte wurden in einem Diagramm für jede Abmessung dargestellt, um die Streuung der sehr subjektiv zu ermittelnden Werte zu dokumentieren.

Für die Endauswertung wurde beim Durchmesser für das Reibungsmoment in der Auflagefläche D_b ein fester Wert für alle Einzelauswertungen (einer Abmessung) vorgegeben, um dadurch eine Vergleichbarkeit der Gesamtreibungszahl μ_{tot} und der Auflagereibungszahl μ_b zu erreichen.

Der Reibungszahlberechnung lagen folgende Beziehungen zu Grunde:

$$\mu_{tot} = \frac{\frac{T}{F} - \frac{P}{2\pi}}{0,578 d_2 + 0,5 D_b}$$

$$\mu_b = \frac{2T_b}{D_b F}$$

$$\mu_{th} = \frac{\frac{T_{th}}{F} - \frac{P}{2\pi}}{0,578 d_2}$$

Für alle Messserien wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet. Hierbei wurden jedoch Ergebnisse eines Sensors, dessen Messwerte außerhalb des Kalibrierbereichs liegen, in den Diagrammen dargestellt, aber bei der Berechnung der Mittelwerte und Standardabweichungen nicht berücksichtigt.



Arbeitskreis Oberflächenschutzsysteme

6 Versuchsergebnisse

Eine umfangreiche anonymisierte Darstellung der Sensorergebnisse wird im Anhang gezeigt. Die Nummerierung der Sensoren ist willkürlich und korreliert nicht mit der alphabetischen Reihenfolge der Teilnehmer.

7 Zusammenfassung

Am Ringversuch 2023 nahmen bei 3 verschiedenen Abmessungen insgesamt 176 Sensoren teil. Da keine Entscheidungskriterien für die Beurteilung vorlagen und das Prüfgut der verschiedenen Abmessungen jeweils aus einem Los stammte, wurden die Ergebnisse als normalverteilt angenommen:

- Praxistauglichkeit der Prüfung angelehnt an DIN EN ISO 16047 und VDA 235-101 [1]
 - Die Standardabweichungen der Anziehdrehmomente T sind in den meisten Fällen wesentlich geringer als die der Teilmomente T_b / T_{th} .
- Fähigkeit der Sensoren
 - Die Sensoren wurden in Bezug auf das Reibungszahlfenster der Empfehlung von VDA 235-101 [1] in drei Qualitätsklassen C_0 , C_1 und C_2 eingeordnet
 - 65 % der teilnehmenden Sensoren, welche mit den gemessenen Werten innerhalb der Kalibrierbereiche lagen, konnten der Qualitätsklassen C_0 zugeordnet werden. Bei den verbleibenden 35 % empfiehlt sich eine Überprüfung / Kalibrierung des betroffenen Sensors.
 - In vielen Fällen kam es durch eine größere Abweichung der Teilreibungszahlen zu keiner Einordnung der Sensoren in die Qualitätsklasse C_0
 - Im Vergleich zu den Ergebnissen des DSV-Ringversuchs von 2014 (66%), der ausschließlich mit der Gewindeabmessung M10 durchgeführt wurde, ist eine geringe Verschlechterung erkennbar (63,5% der Abmessung M10 konnten der Qualitätsklasse C_0 zugeordnet werden). Eine einwandfreie Vergleichbarkeit zu den Ergebnissen des Ringversuchs von 2014 ist jedoch nicht gegeben, da Unterschiede beim Beschichtungssystem, den Referenzteilen und der Schraubenkopfauflage bestanden.
 - Bei der Gewindeabmessung M24 wurde auch die Referenzmutter mit ZnNi sw + Schmiermittel beschichtet. Dies führte zu geringeren Streuungen der Gewindereibungszahlen und zu keiner Zuordnung zur Qualitätsklasse C_2 .
- Wie beim Ringversuch 2014, zeigt sich auch 2023, dass
 - die Ermittlung des wirksamen Durchmessers für das Reibungsmoment in der Schraubenkopfauflage D_b einer erheblichen Streuung unterworfen ist. Hier besteht noch großes Verbesserungspotential, da dieser Durchmesser einen großen Einfluss auf die berechneten Reibungszahlen hat, aber derzeit nur sehr subjektiv bewertet werden kann.

Die Organisatoren bedanken sich bei den DSV-Mitgliedern Wilhelm Schumacher GmbH Schraubenfabrik, August Friedberg GmbH, WHW Walter Hillebrand GmbH & Co. KG und Dörken Coatings GmbH & Co. KG für die Bereitstellung des Prüfguts, die Musterbeschichtungen und die Reinigung der Referenzteile.



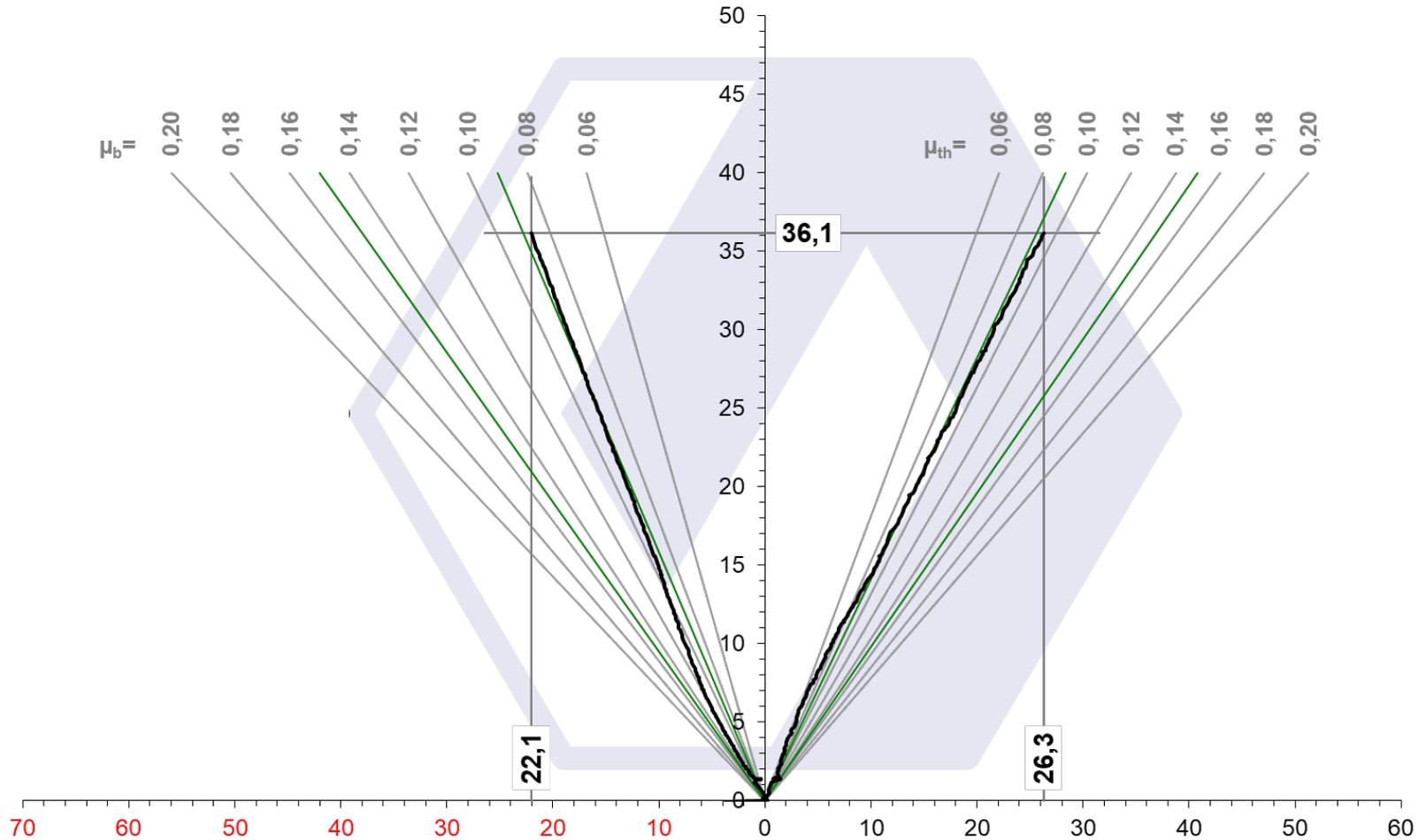
DEUTSCHER SCHRAUBENVERBAND E.V.
HERSTELLER MECHANISCHER VERBINDUNGSELEMENTE

Arbeitskreis Oberflächenschutzsysteme

Literaturverzeichnis

- [1] Verband der Automobilindustrie e. V. (November 2021): VDA 235-101 Ermittlung von Reibungszahlen von mechanischen Verbindungselementen mit metrischem Gewinde, Berlin
- [2] DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Januar 2013): DIN EN ISO 16047 Verbindungselemente - Drehmoment/Vorspannkraft-Versuch, Berlin
- [3] DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Dezember 2023): DIN EN ISO 4032 Verbindungselemente Sechskantmuttern (Typ 1), Berlin

AK Oberflächenschutzsysteme



Ringversuch 2023 Reibungszahlen

Inhaltsverzeichnis (folgende Seite)



DEUTSCHER SCHRAUBENVERBAND E.V.

Symbole und Formelzeichen	Seite 3
Übersicht teilnehmende Labore / Sensoren	Seite 4
Tragbilddurchmesser M6	Seite 5
Tragbilddurchmesser M10_20 U/min	Seite 6

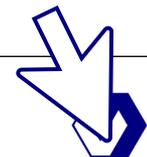


Mausklick auf Seitenangabe führt zu entsprechender Seite

Auf ausgesuchter Seite Mausclick auf DSV-Logo führt zurück zum Inhaltsverzeichnis

Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



DEUTSCHER SCHRAUBENVERBAND E.V.



Symbole und Formelzeichen	Seite 3
Übersicht teilnehmende Labore / Sensoren	Seite 4
Tragbilddurchmesser M6	Seite 5
Tragbilddurchmesser M10_20 U/min	Seite 6
Tragbilddurchmesser M10_200 U/min	Seite 7
Tragbilddurchmesser M24	Seite 8
Erläuterung Darstellung Ergebnisse Reibungszahlen	Seite 9
Kalibrierbereiche M6	Seite 17
Übersicht Ergebnisse Reibungszahlen M6	Seite 21
Kalibrierbereiche M10_20 U/min	Seite 27
Übersicht Ergebnisse Reibungszahlen M10_20 U/min	Seite 31
Kalibrierbereiche M10_200 U/min	Seite 37
Übersicht Ergebnisse Reibungszahlen M10_200 U/min, 1. Anzug	Seite 41
Übersicht Ergebnisse Reibungszahlen M10_200 U/min, 5. Anzug	Seite 47
Übersicht Ergebnisse Reibungszahlen M10_200 U/min, Vergleich 1. Anzug / 5. Anzug	Seite 50
Übersicht Ergebnisse Reibungszahlen M10_20/200 U/min, Vergleich 1stufiger- /2stufiger Anzug	Seite 56
Übersicht Ergebnisse Reibungszahlen M10_20/200 U/min, tatsächliche Umschaltpunkte	Seite 59
Kalibrierbereiche M24	Seite 63
Übersicht Ergebnisse Reibungszahlen M24	Seite 67
Beispiel Einzelauswertung mit Zuordnung Qualitätsklassen	Seite 73
Übersicht Zuordnung Qualitätsklassen	Seite 75

In Anlehnung an DIN EN ISO 16047

D_i	innerer Tragbilddurchmesser	mm
D_a	äußerer Tragbilddurchmesser	mm
D_b	Durchmesser für das Reibungsmoment in der Schraubenkopf- oder Mutterauflage	mm
F	Vorspannkraft	kN
T	Anziehdrehmoment	Nm
T_b	Reibungsdrehmoment in der Auflagefläche	Nm
T_{th}	Gewindedrehmoment	Nm
μ_{tot}	Gesamtreibungszahl	- / -
μ_b	Reibungszahl in der Mutter- oder Kopfauflage	- / -
μ_{th}	Reibungszahl im Gewinde	- / -

Definition der Qualitätsklassen

C_0	Prüfstand ohne Beanstandung
C_1	Prüfstand, bei dem bei einzelnen Messgrößen Beeinträchtigungen des Kalibrierzustandes und / oder der Sensorfunktion wahrscheinlich sind
C_2	Prüfstand zeigt deutliche Hinweise auf Fehlfunktionen

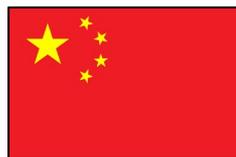
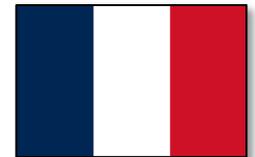
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



DEUTSCHER SCHRAUBENVERBAND E.V.

Teilnehmer		
M6	66 Sensoren	34 Unternehmen / Labore
M10 20 U/min	17 Sensoren	12 Unternehmen / Labore
M10 200 U/min	69 Sensoren	32 Unternehmen / Labore
M24	24 Sensoren	20 Unternehmen / Labore
GESAMT	176 Sensoren	41 Unternehmen / Labore



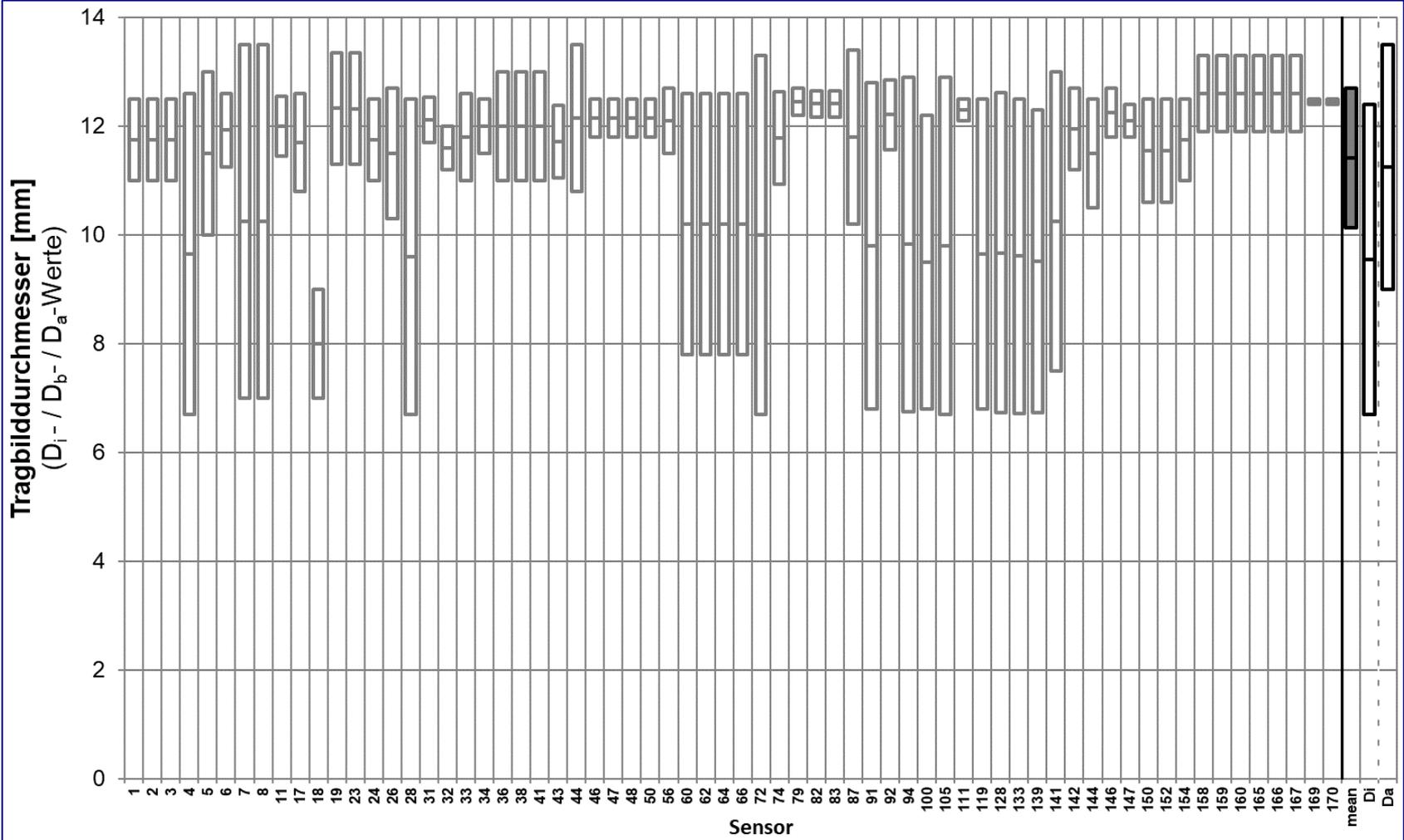
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Tragbilddurchmesser
M6

Gewählter Reibdurchmesser $D_b = 11,3 \text{ mm}$



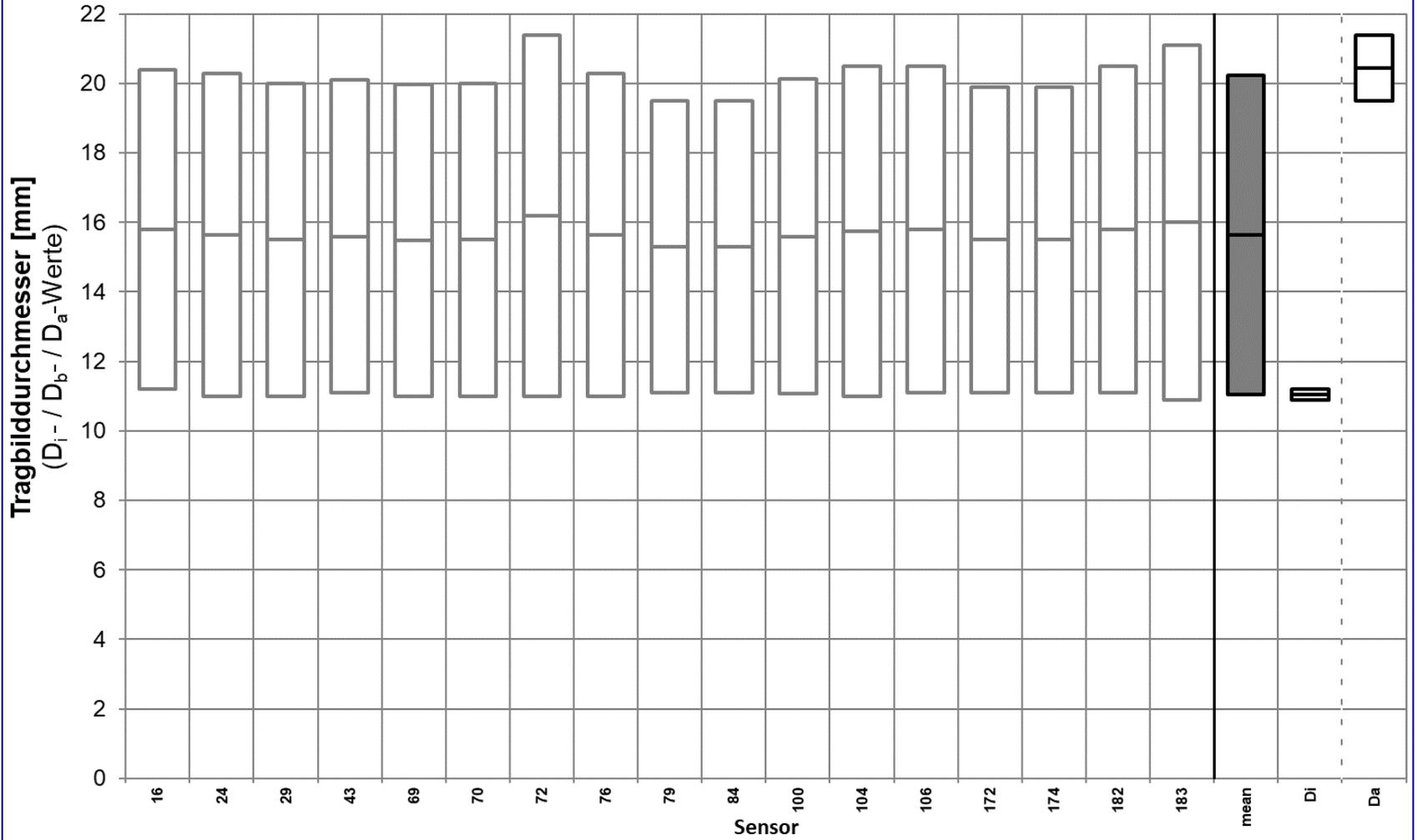
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Tragbilddurchmesser
M10 - 20 U/min

Gewählter Reibdurchmesser $D_b = 15,7 \text{ mm}$



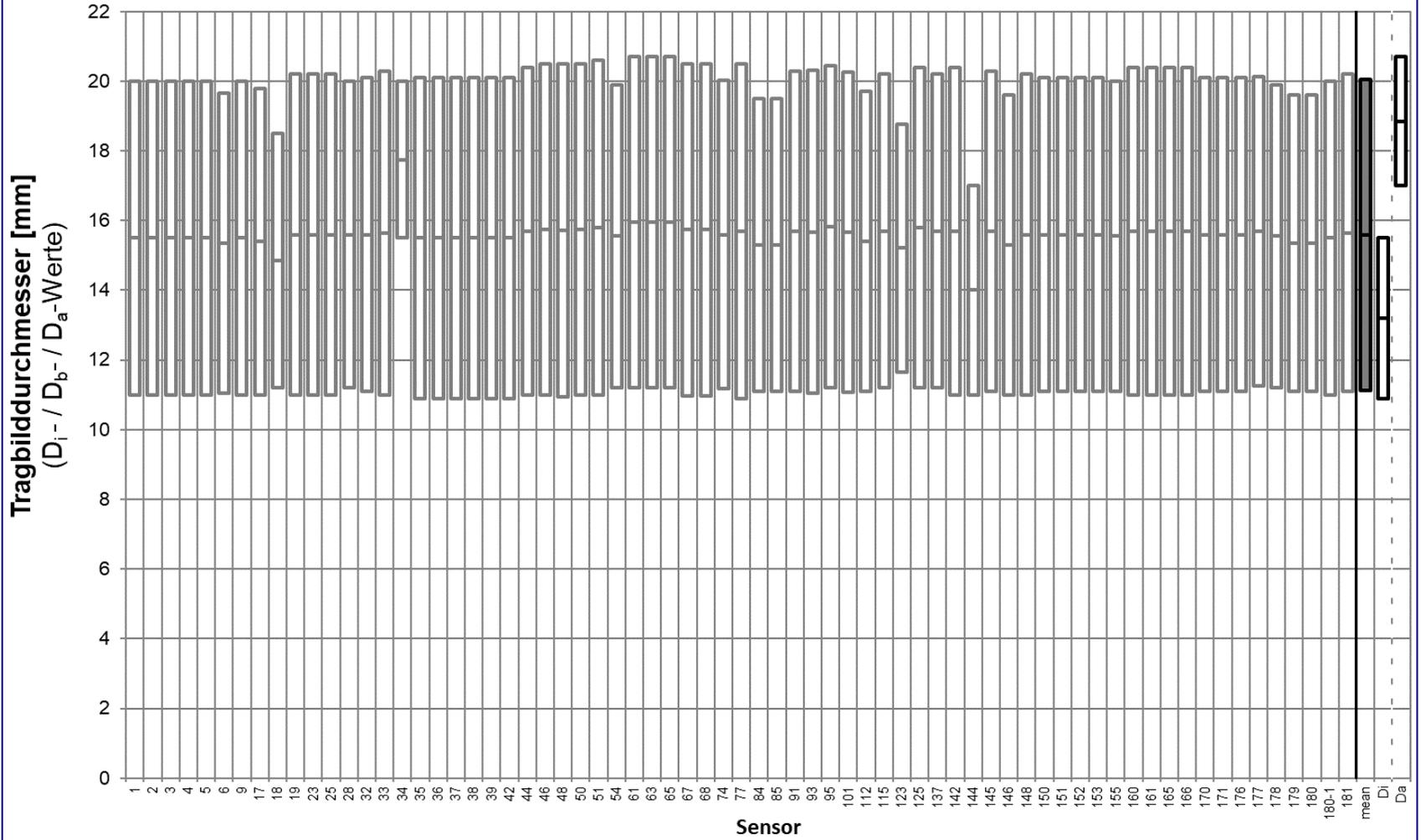
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Tragbilddurchmesser
M10 - 200 U/min

Gewählter Reibdurchmesser $D_b = 15,7 \text{ mm}$



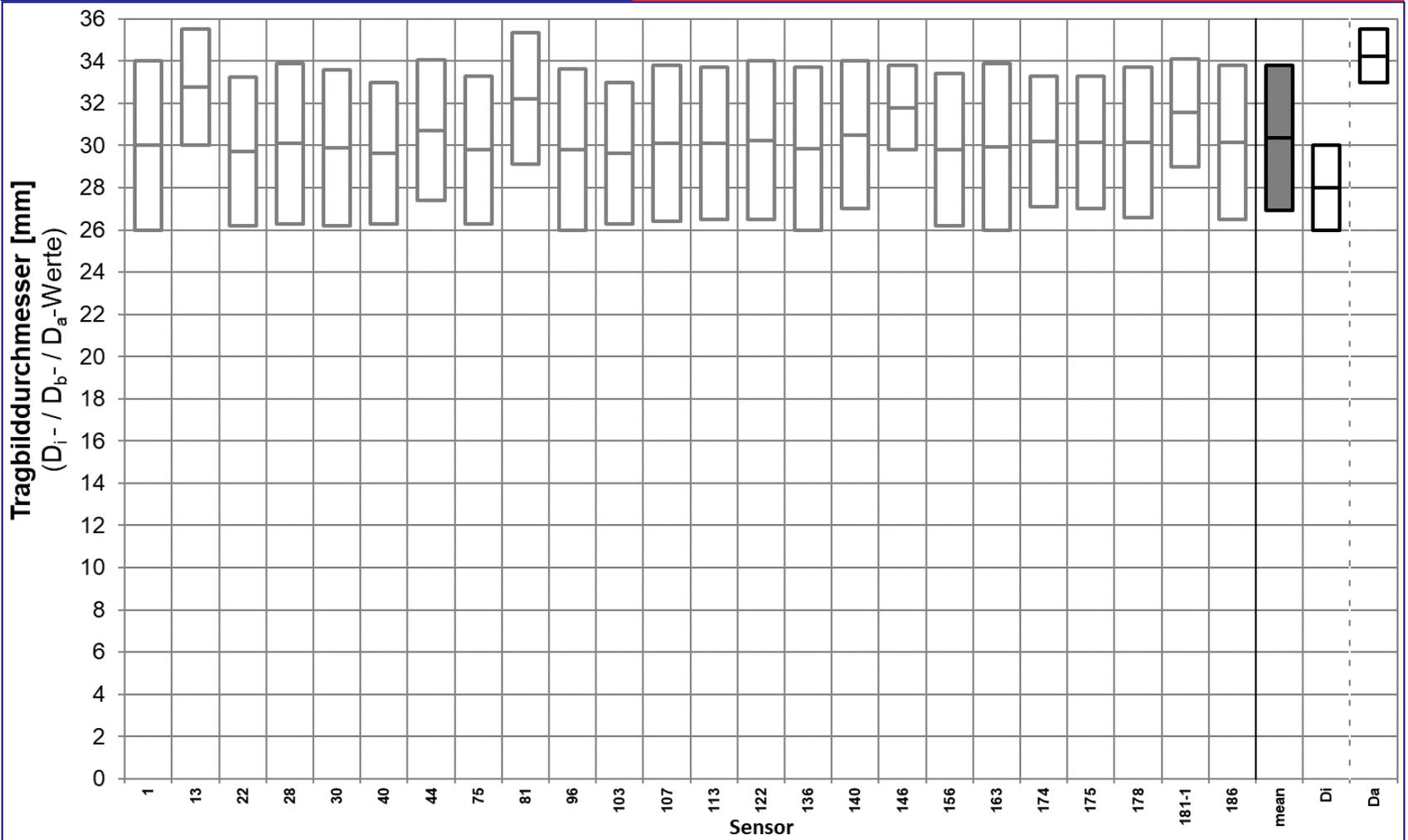
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



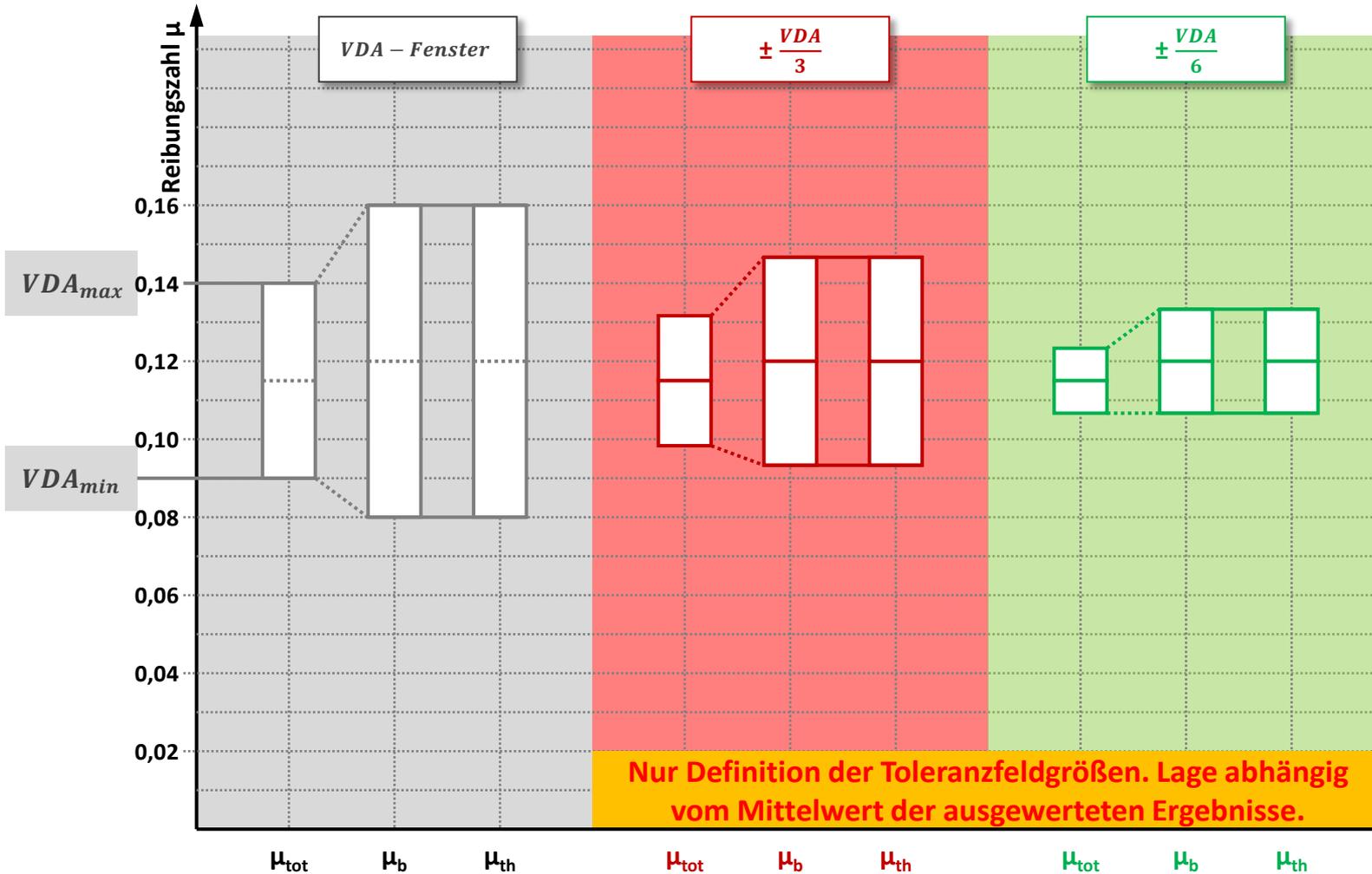
Tragbilddurchmesser
M24

Gewählter Reibdurchmesser $D_b = 30,0$ mm



Größen Reibungszahlfenster VDA 235-101

Grenzen für Qualitätsklassen



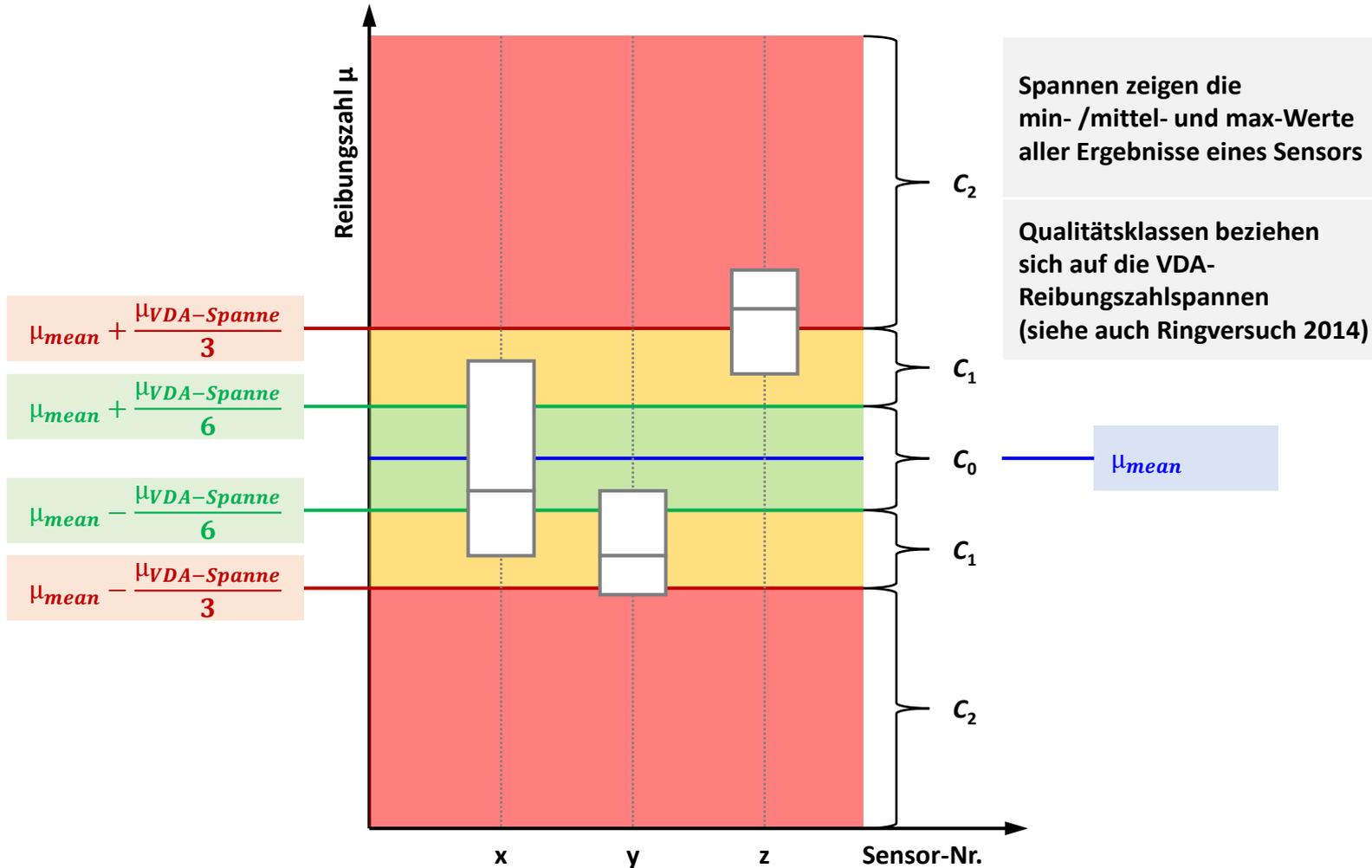
Qualitätsklassen

Beispielwerte mit VDA-Reibungszahlfenster!

Qualitätsklasse	Beschreibung
C₀	Sensor ohne Beanstandung
	$x_{mean} \text{ aller Sensoren} - \frac{\text{Spannweite Reibungszahlfenster nach VDA 235 - 101}}{6}$ $\leq \text{Sensormittelwert}$
	$\leq x_{mean} \text{ aller Sensoren} + \frac{\text{Spannweite Reibungszahlfenster nach VDA 235 - 101}}{6}$
C₁	Sensor, bei dem bei einzelnen Messgrößen Beeinträchtigungen des Kalibrierzustandes und / oder der Sensorfunktion wahrscheinlich sind
	$x_{mean} \text{ aller Sensoren} - \frac{\text{Spannweite Reibungszahlfenster nach VDA 235 - 101}}{3}$ $\leq \text{Sensormittelwert}$
	$< x_{mean} \text{ aller Sensoren} - \frac{\text{Spannweite Reibungszahlfenster nach VDA 235 - 101}}{6}$
	$x_{mean} \text{ aller Sensoren} + \frac{\text{Spannweite Reibungszahlfenster nach VDA 235 - 101}}{6}$
	$< \text{Sensormittelwert}$ $\leq x_{mean} \text{ aller Sensoren} - \frac{\text{Spannweite Reibungszahlfenster nach VDA 235 - 101}}{3}$
C₂	Sensor zeigt deutliche Hinweise auf Fehlfunktionen
	$\text{Sensormittelwert} < x_{mean} \text{ aller Sensoren} - \frac{\text{Spannweite Reibungszahlfenster nach VDA 235 - 101}}{3}$
	$\text{Sensormittelwert} > x_{mean} \text{ aller Sensoren} + \frac{\text{Spannweite Reibungszahlfenster nach VDA 235 - 101}}{3}$

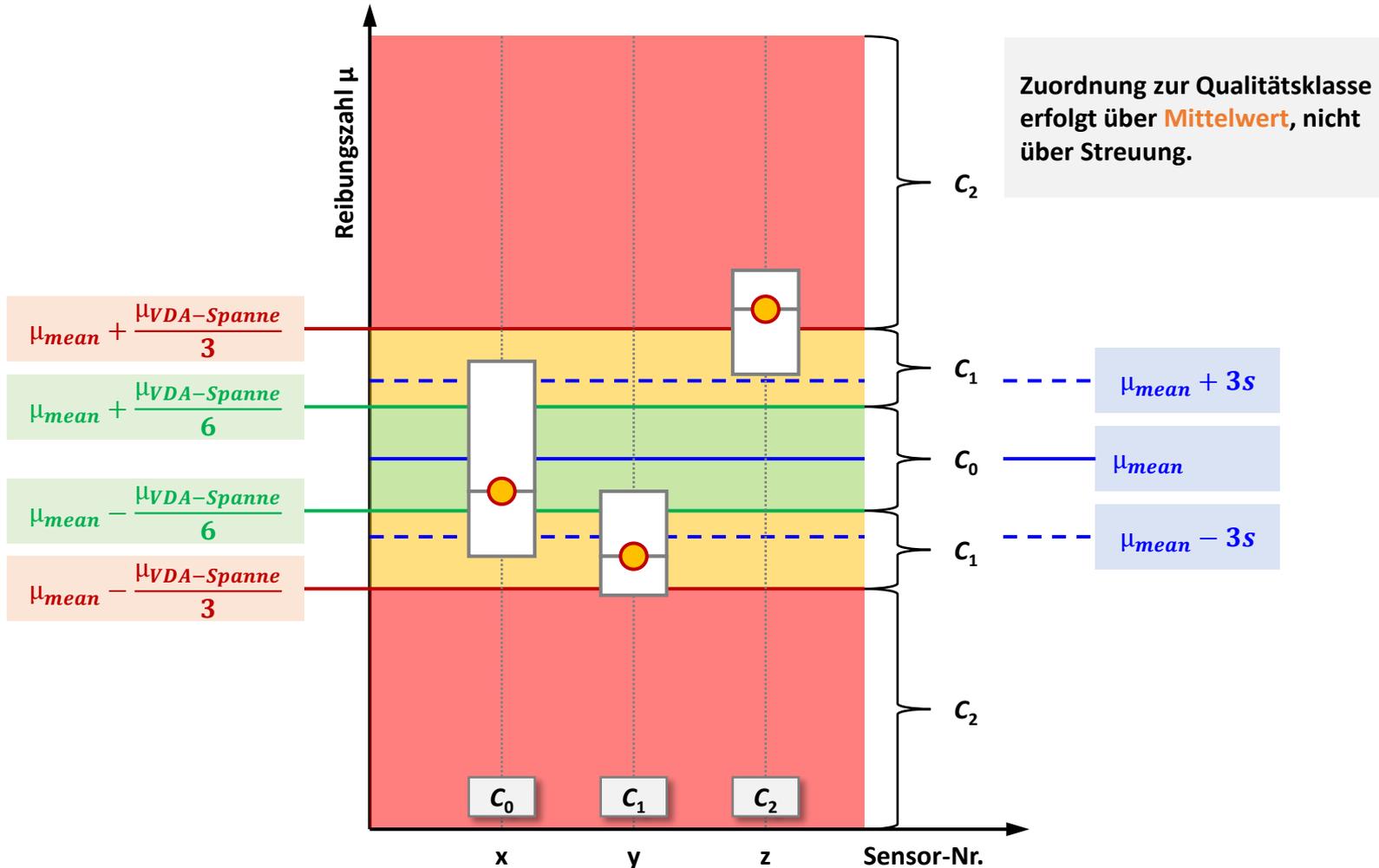
Qualitätsklassen

Beispielwerte mit VDA-Reibungszahlfenster!



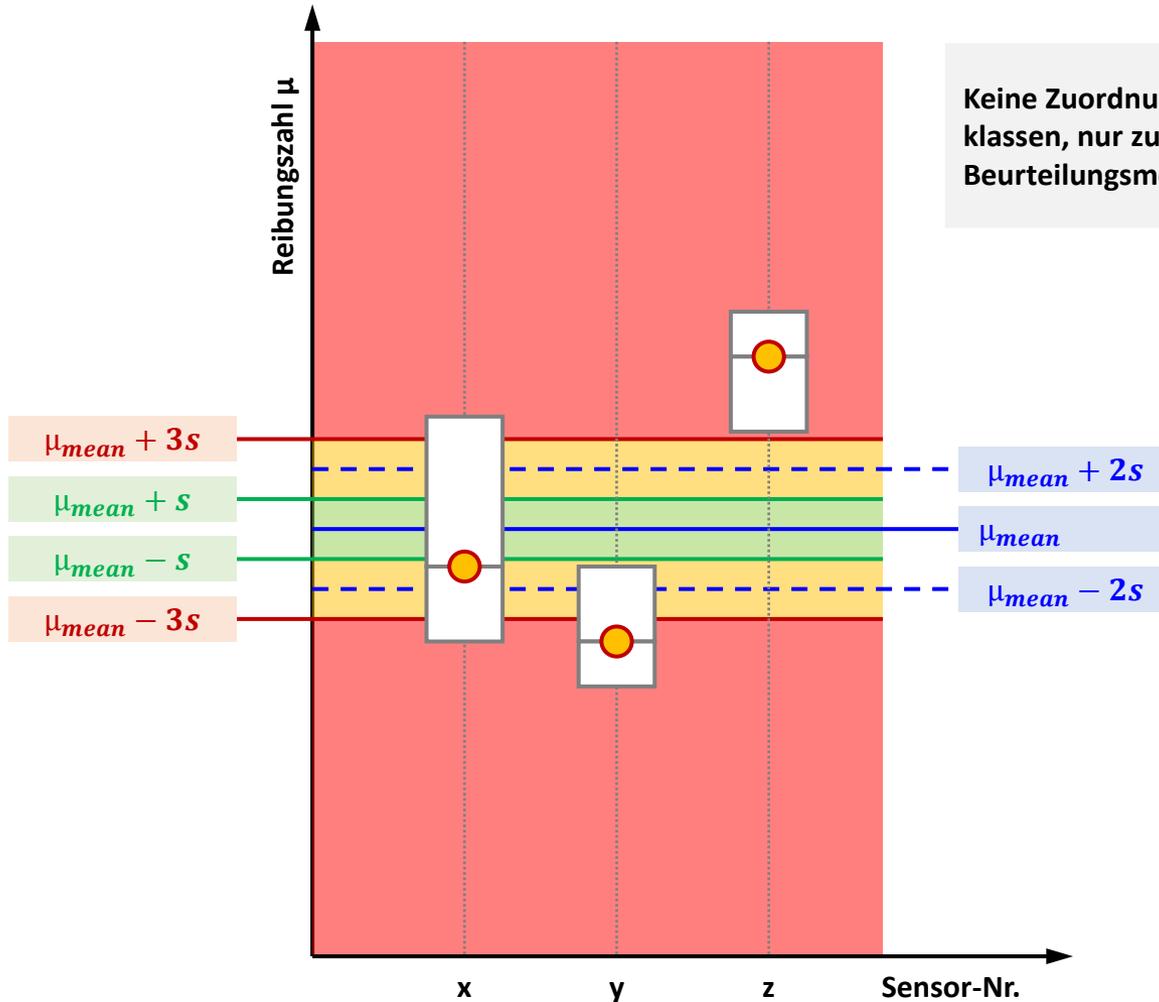
Qualitätsklassen

Beispielwerte mit VDA-Reibungszahlfenster!

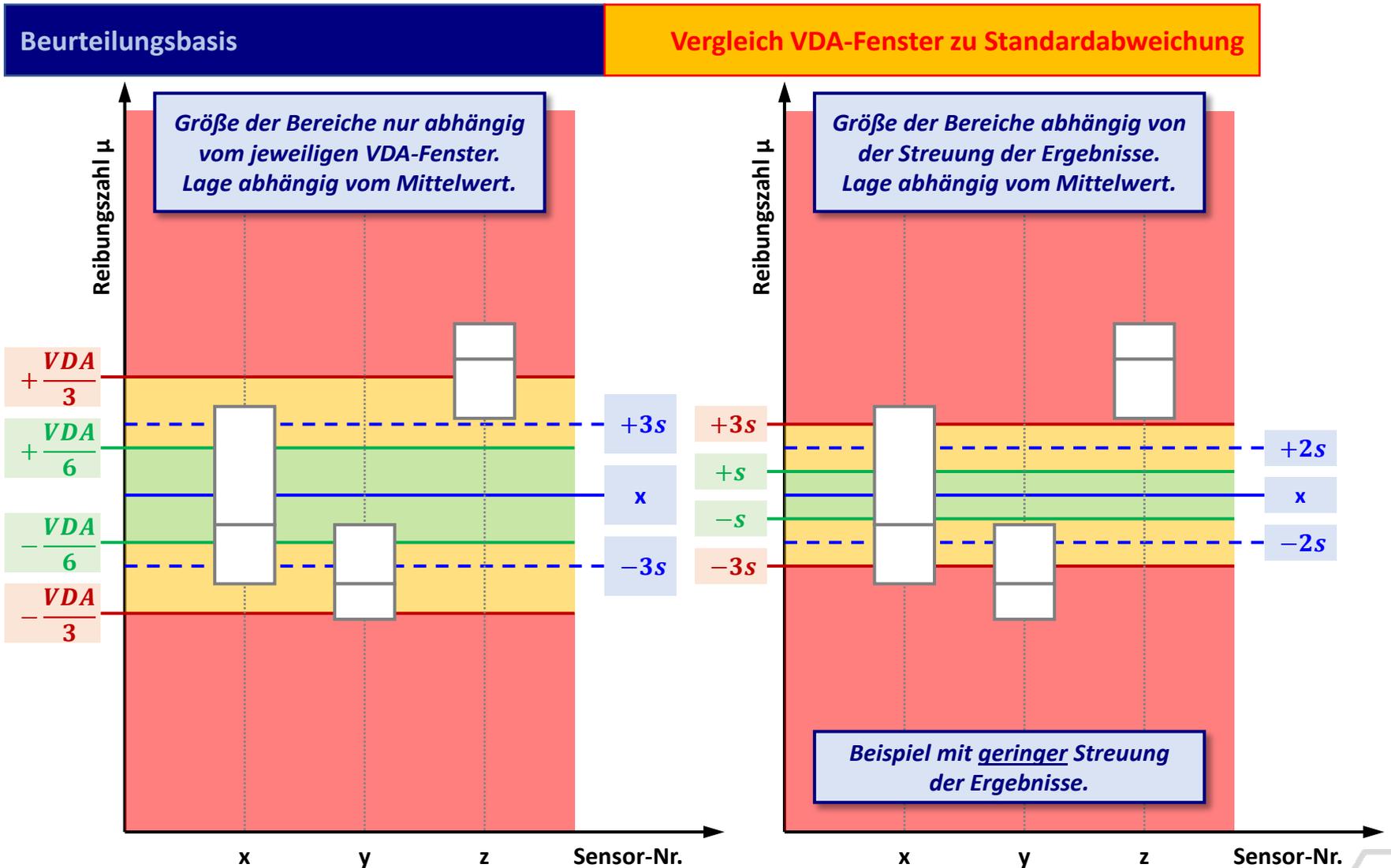


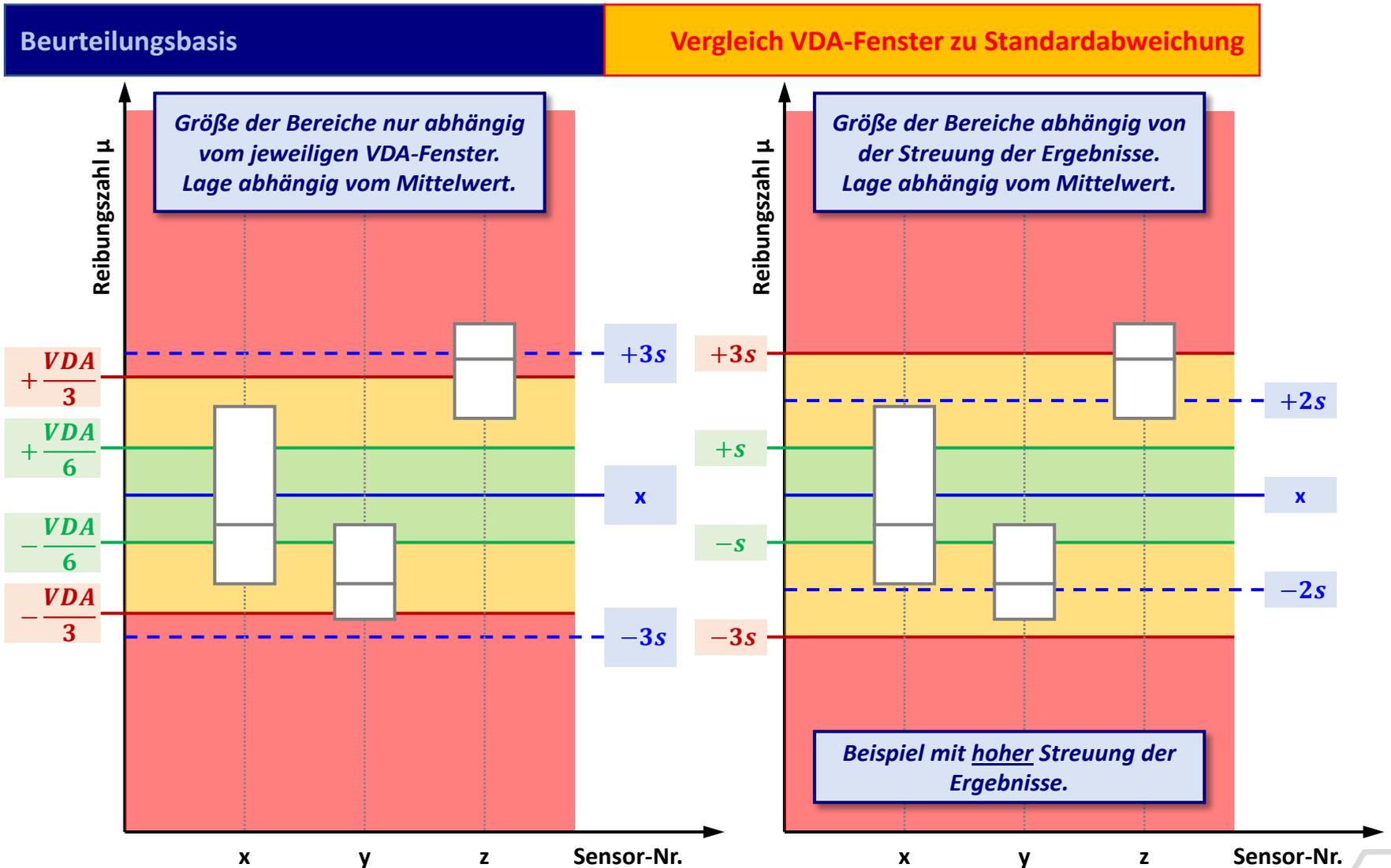
Qualitätsklassen

Beispielwerte mit Standardabweichung!



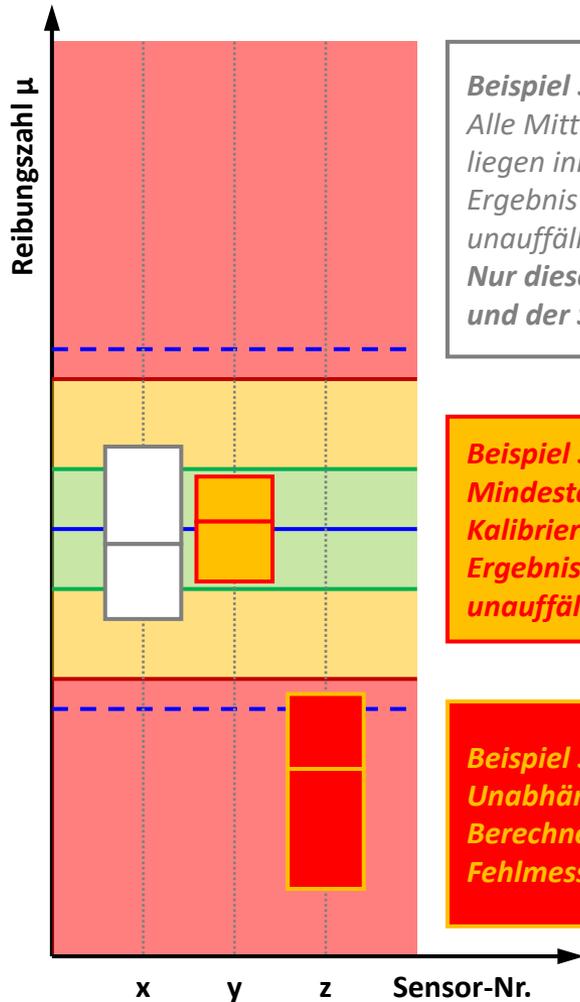
Keine Zuordnung zu Qualitätsklassen, nur zusätzliche Beurteilungsmöglichkeit.





Filter für Auswertung

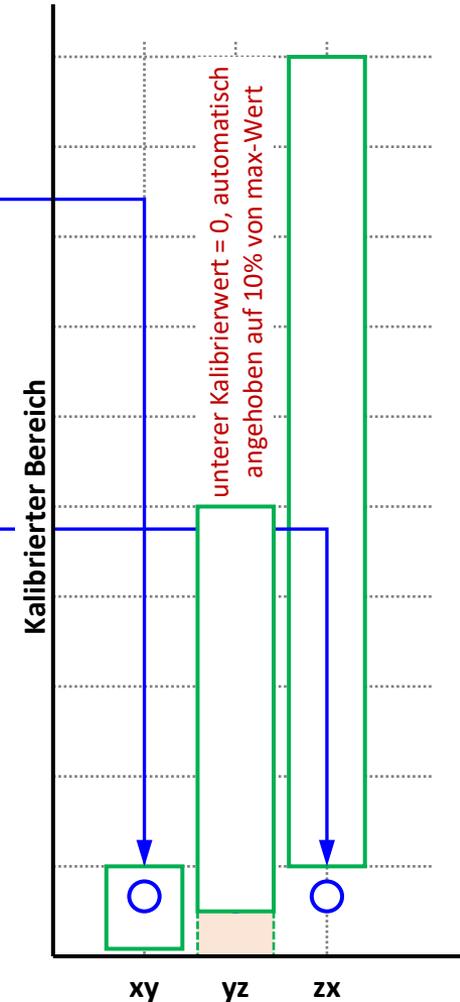
Erläuterung der 3 Gruppen



Beispiel Sensor x:
 Alle Mittelwerte der Messwerte ($F/T/T_b/T_{th}$)
 liegen innerhalb des Kalibrierbereichs.
 Ergebnis der berechneten Reibungszahlen ist
 unauffällig.
 Nur diese Werte werden bei den Mittelwerten
 und der Standardabweichung berücksichtigt!

Beispiel Sensor y:
 Mindestens ein Messwert liegt außerhalb des
 Kalibrierbereichs.
 Ergebnis der berechneten Reibungszahlen kann
 unauffällig sein.

Beispiel Sensor z:
 Unabhängig von passendem Kalibrierbereich.
 Berechnete Reibungszahlen lassen auf
 Fehlmessung schließen.



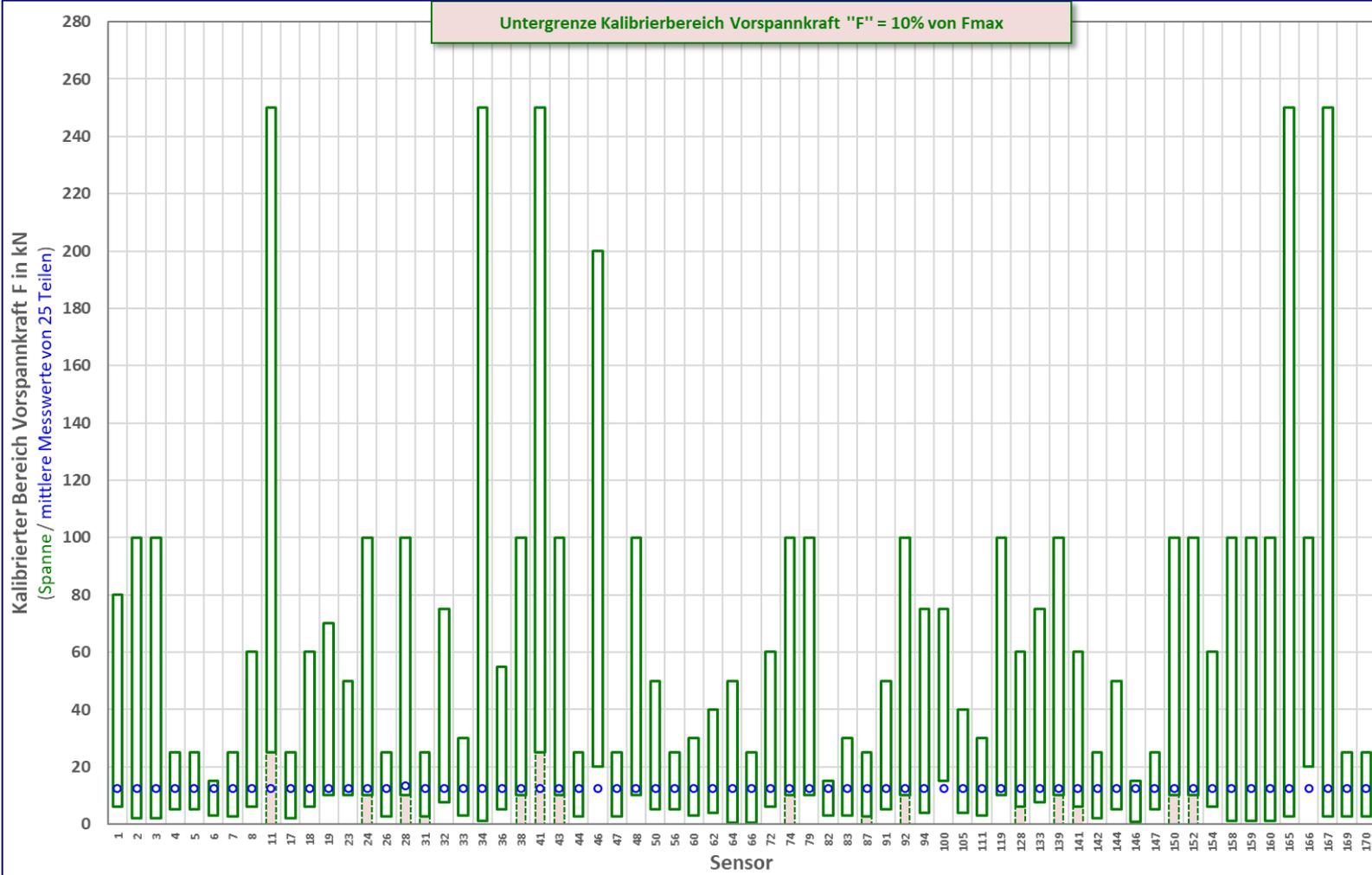
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



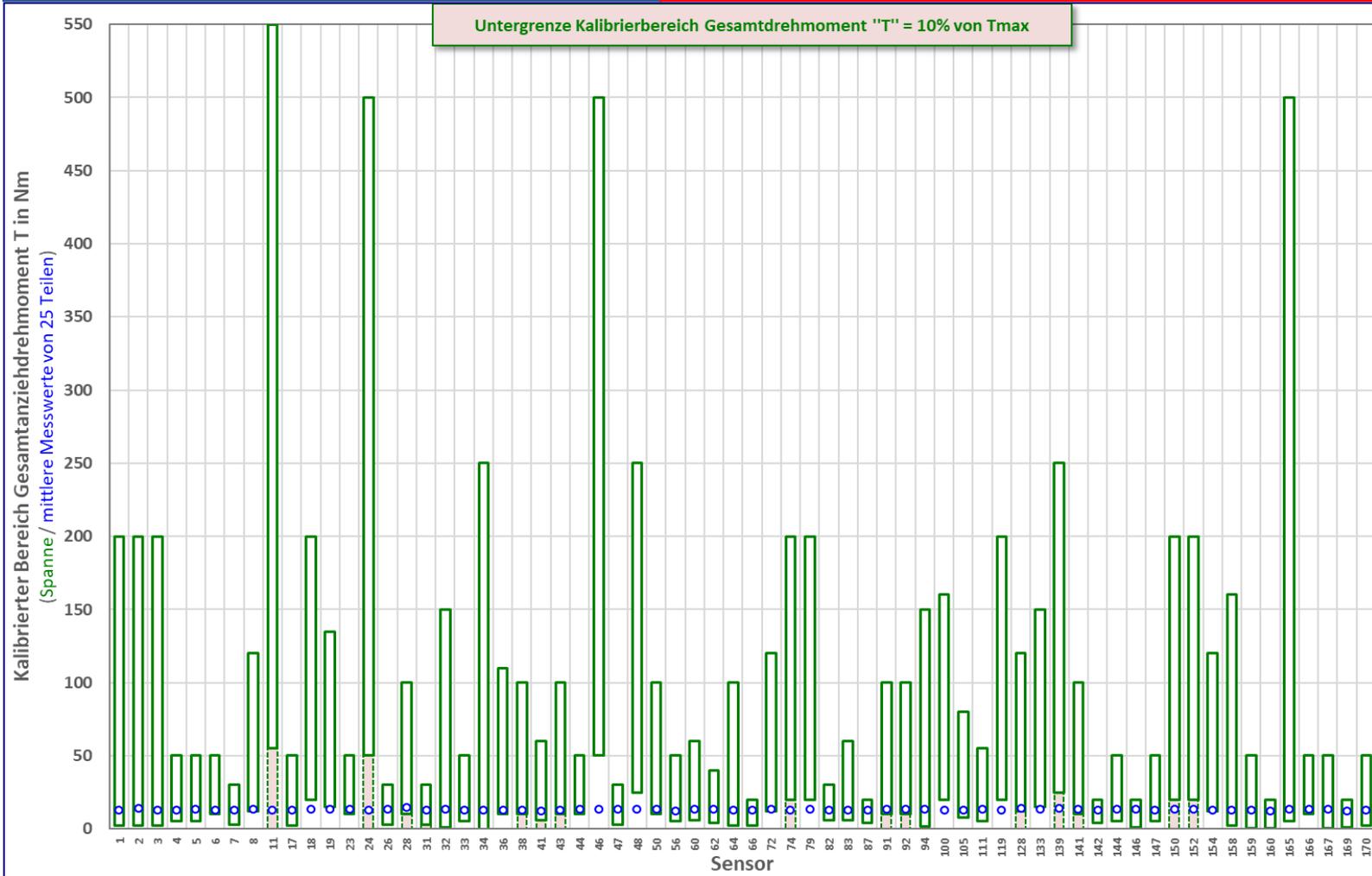
Kalibrierbereich Kraft F M6

min-Wert = 0: Anhebung auf 10% des max-Wertes!



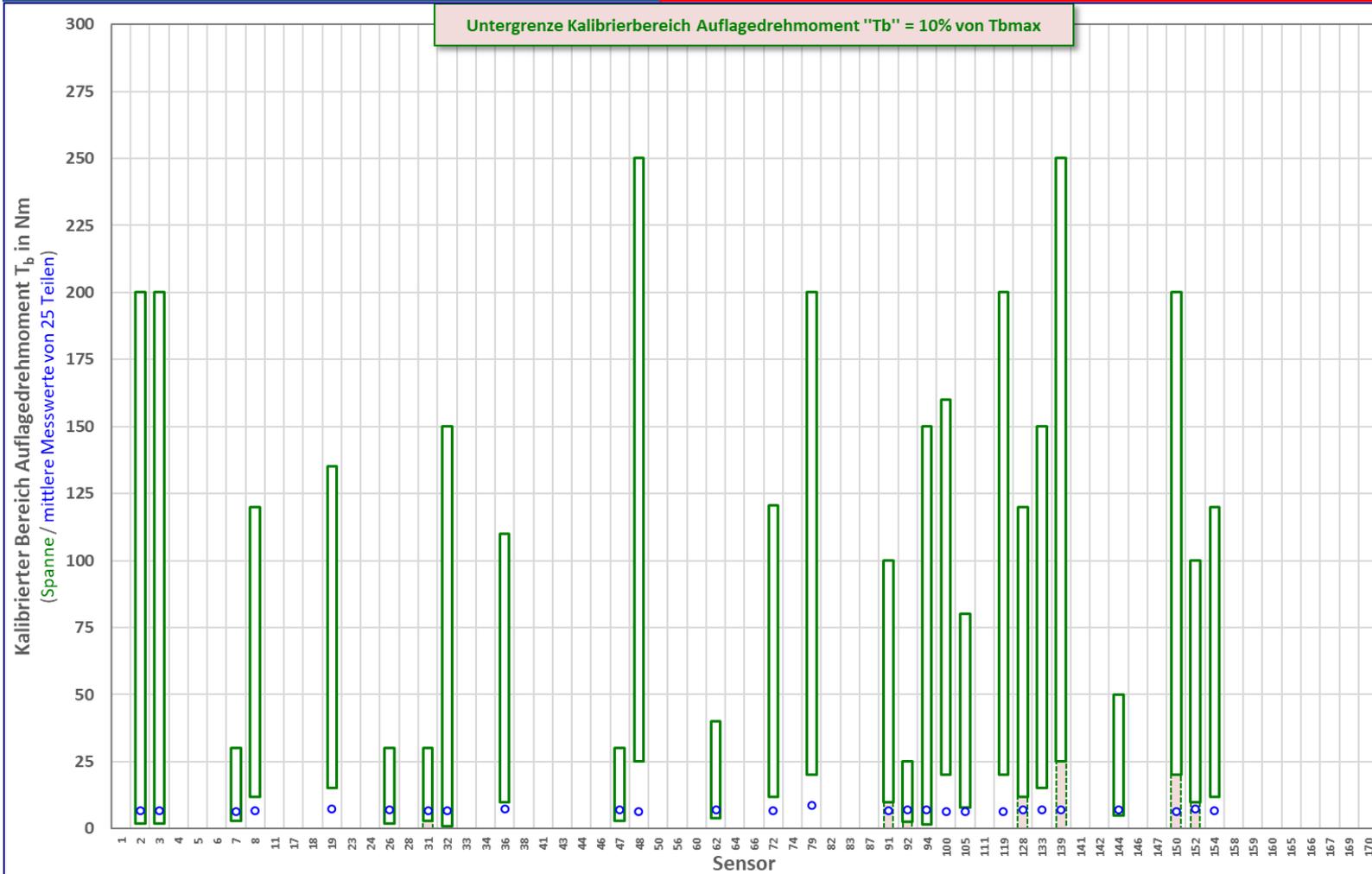
Kalibrierbereich Drehmoment T
M6

min-Wert = 0: Anhebung auf 10% des max-Wertes!



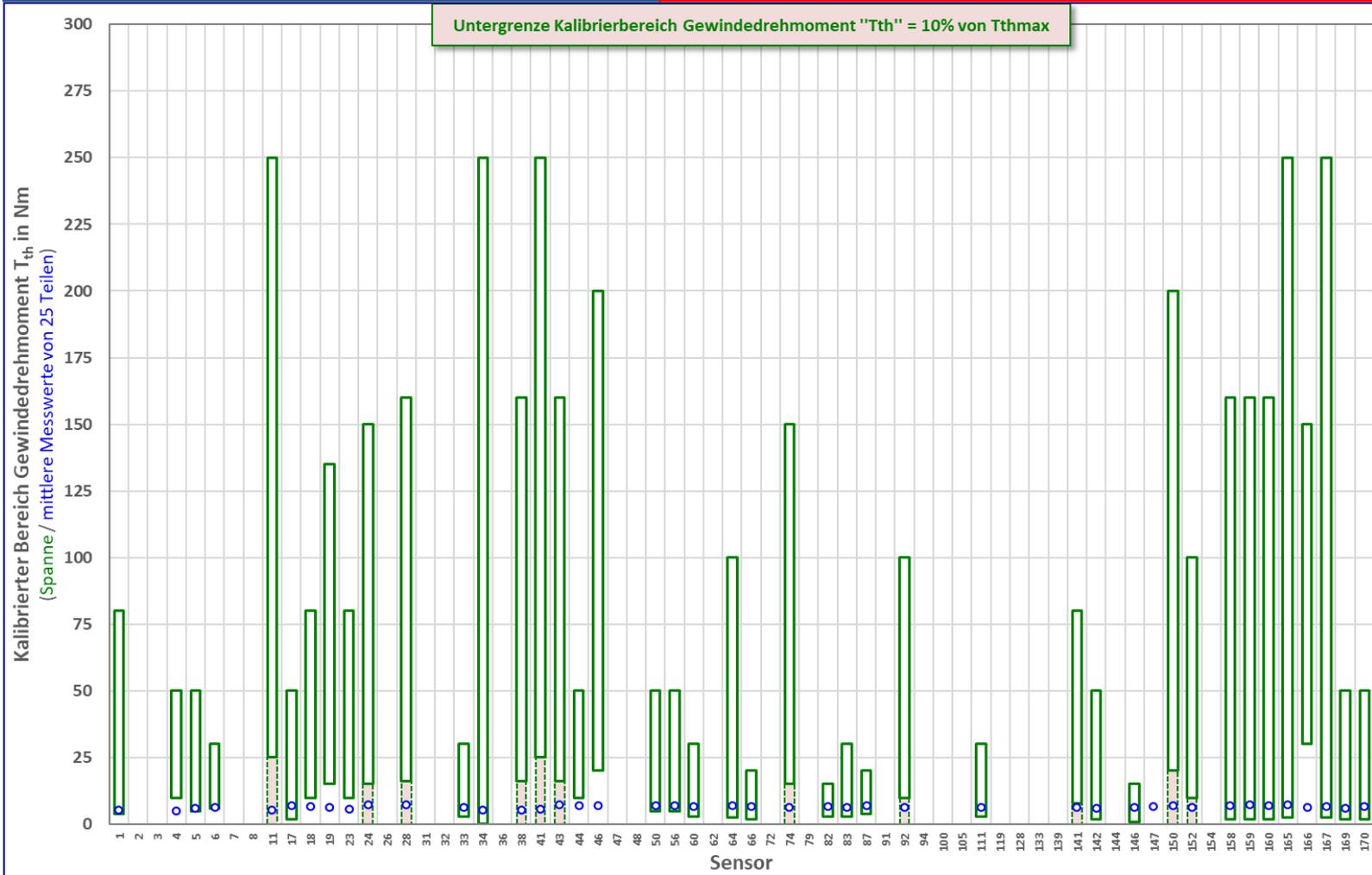
Kalibrierbereich Teildrehmoment T_b
M6

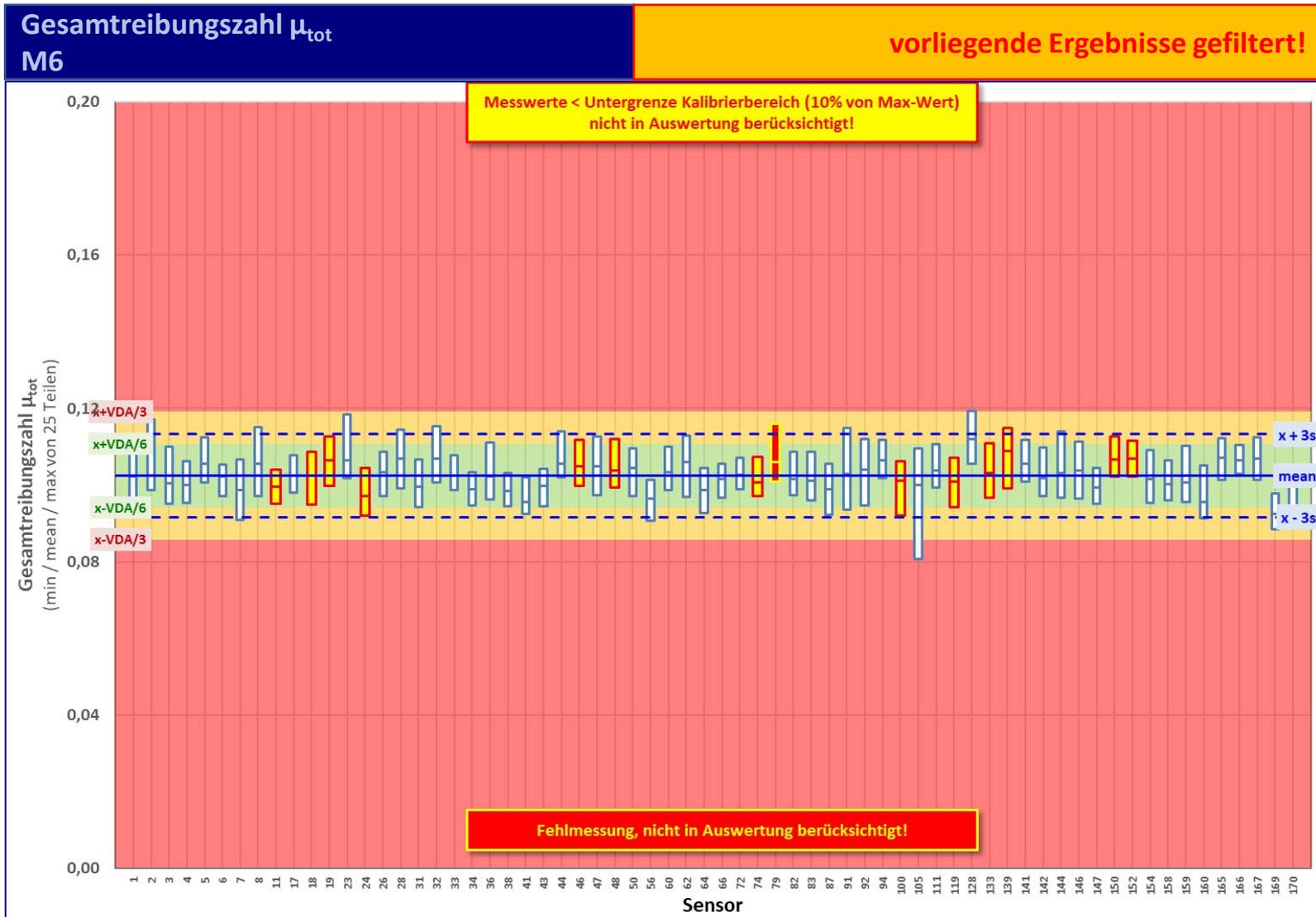
min-Wert = 0: Anhebung auf 10% des max-Wertes!



Kalibrierbereich Teildrehmoment T_{th}
M6

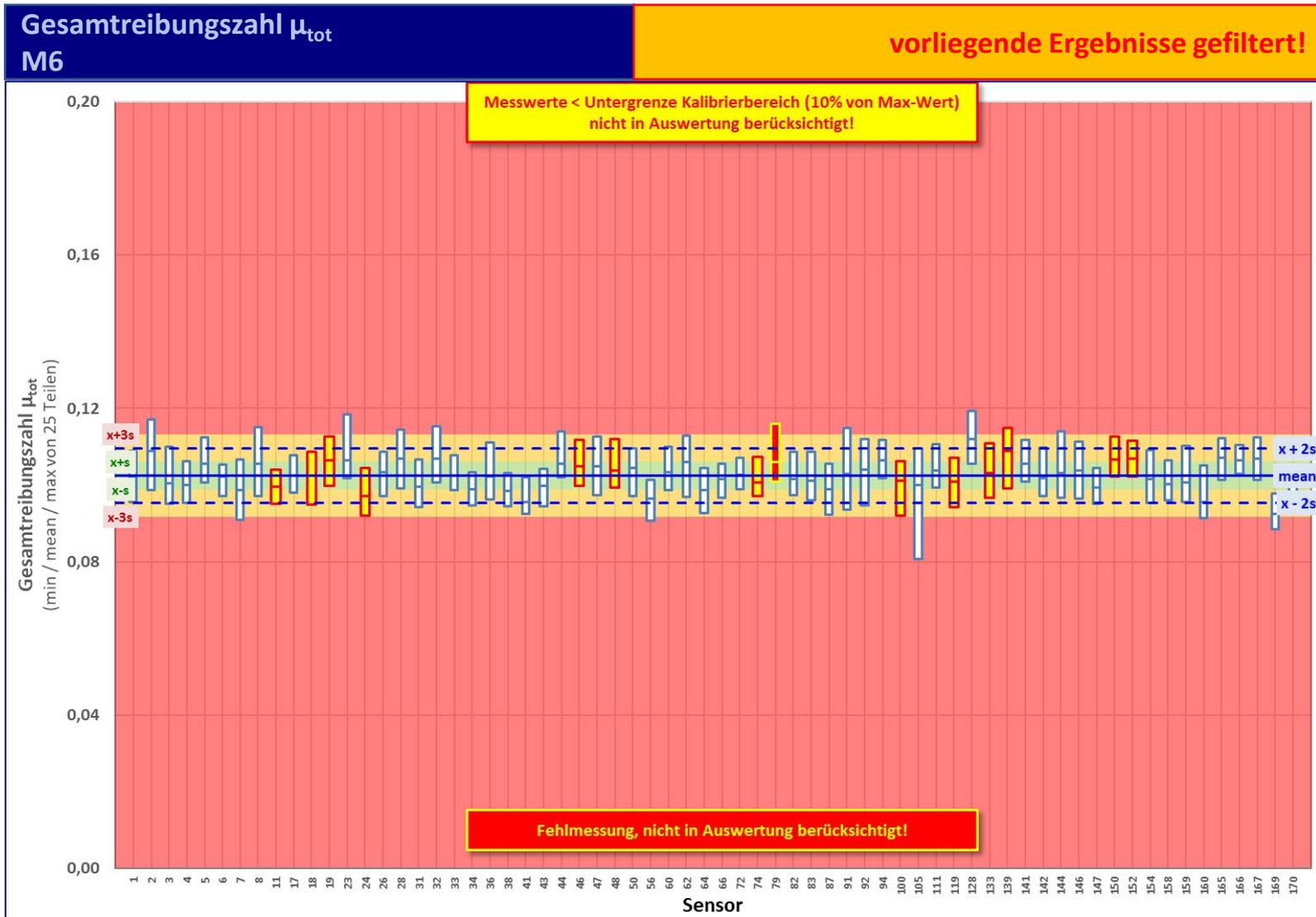
min-Wert = 0: Anhebung auf 10% des max-Wertes!

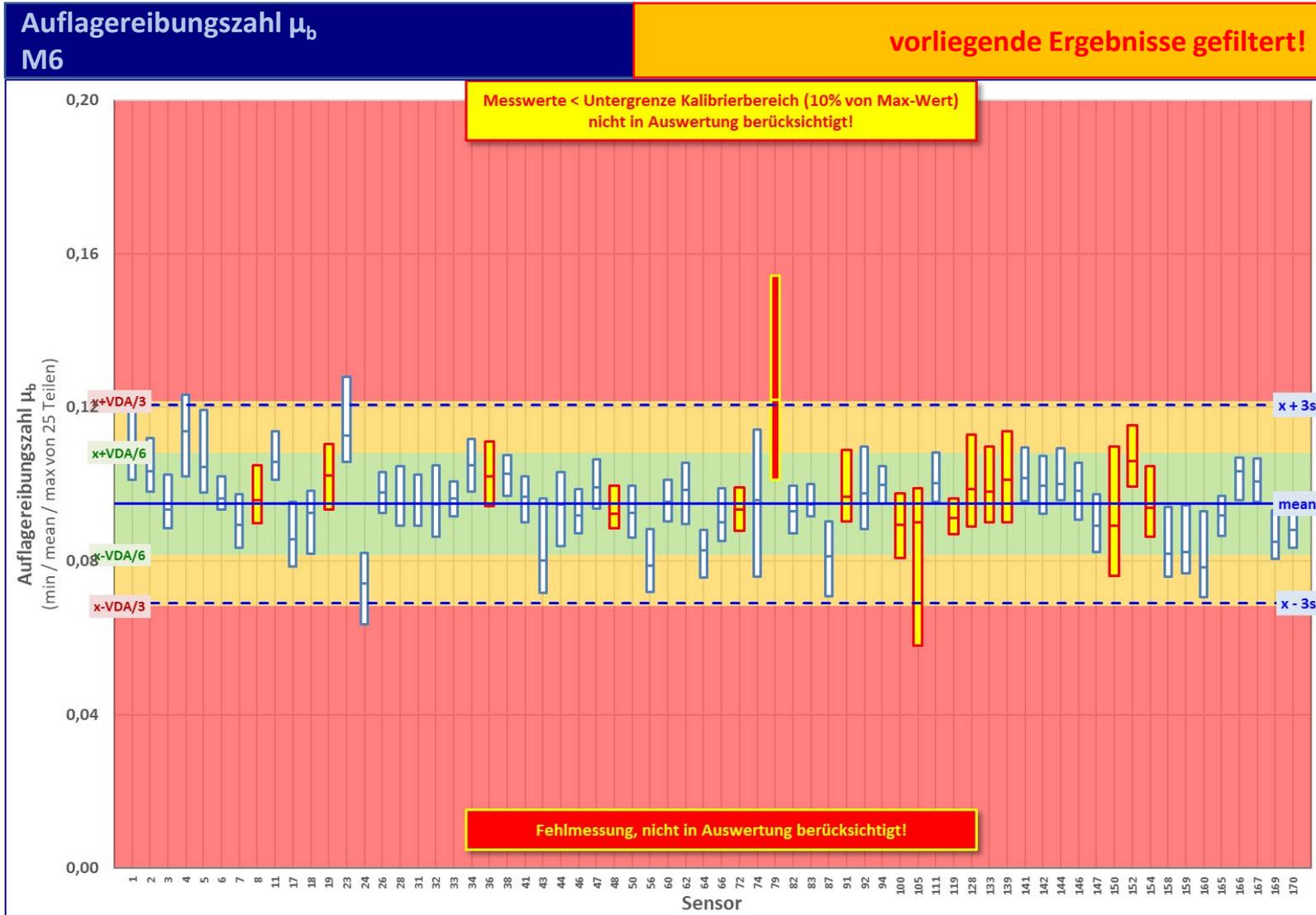




Ringversuch 2023 Reibungszahlen

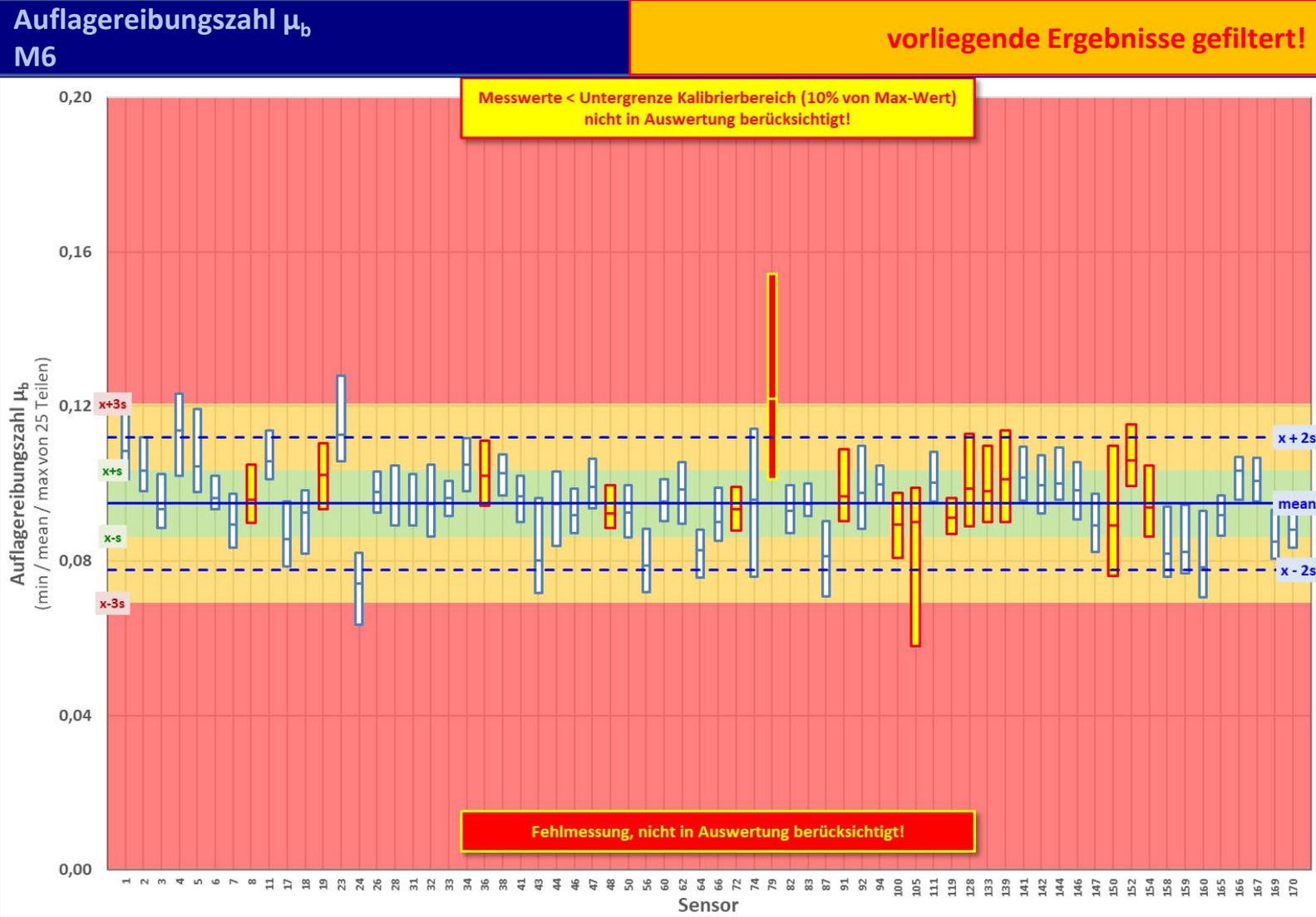
finale Auswertung





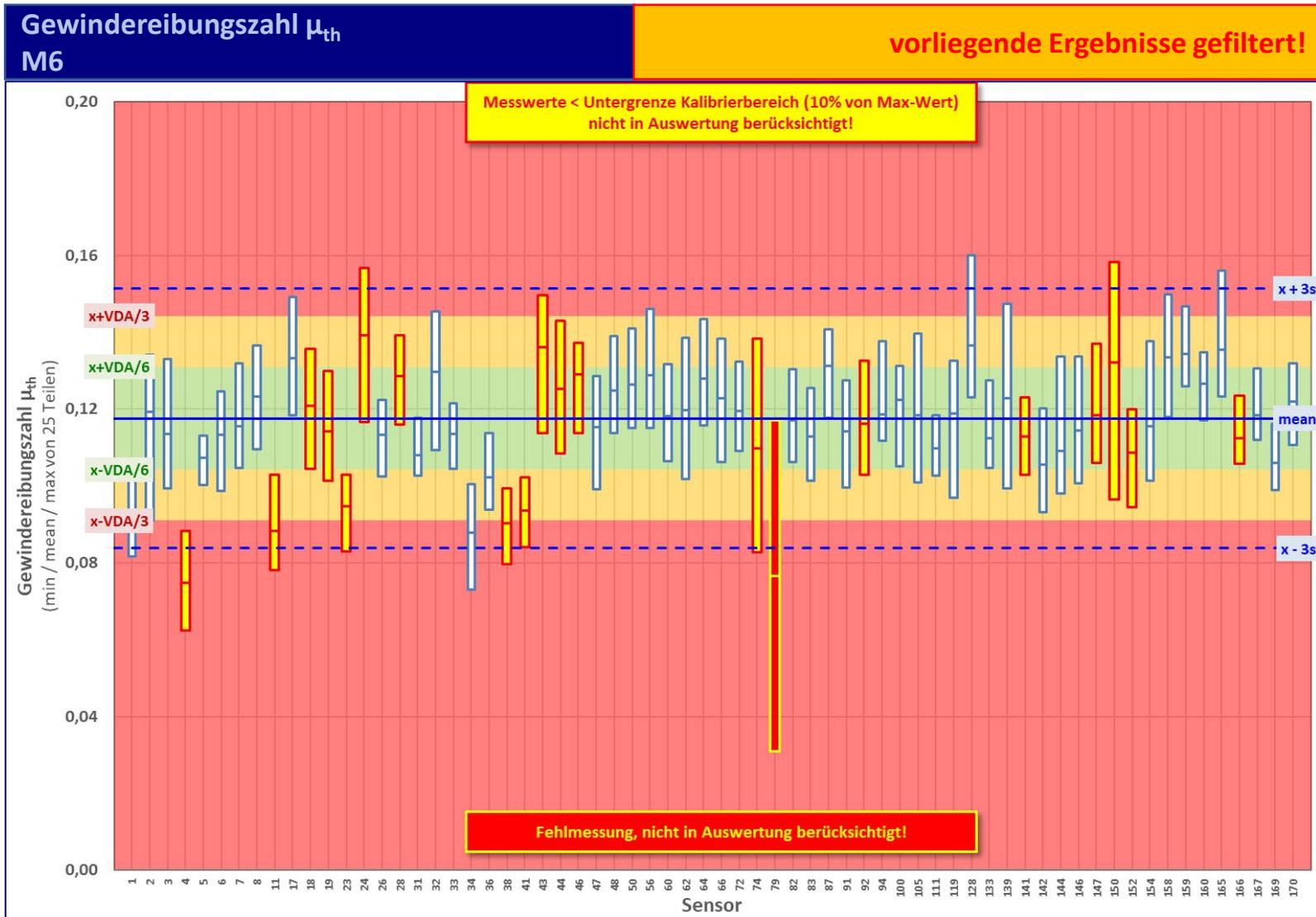
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



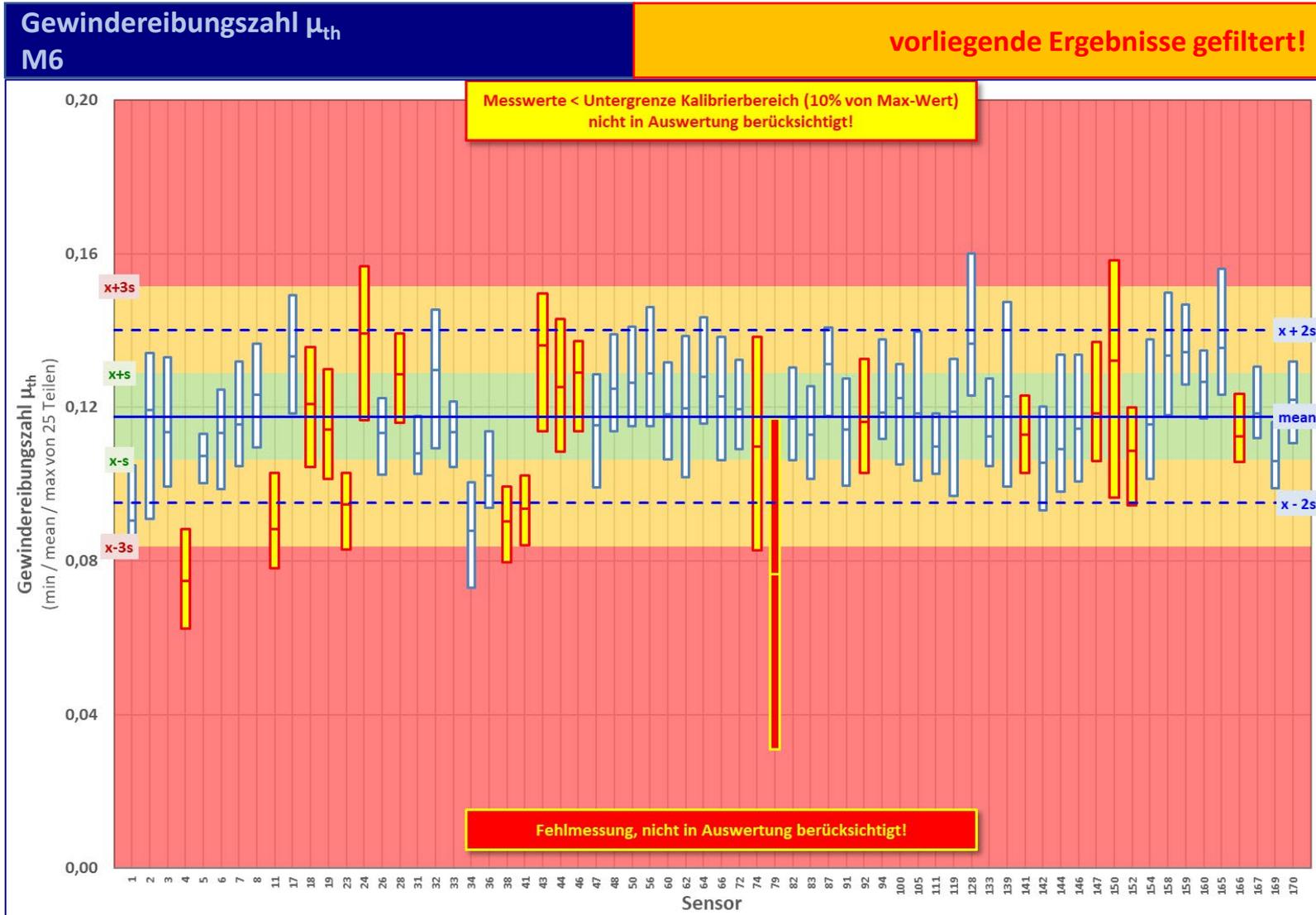
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



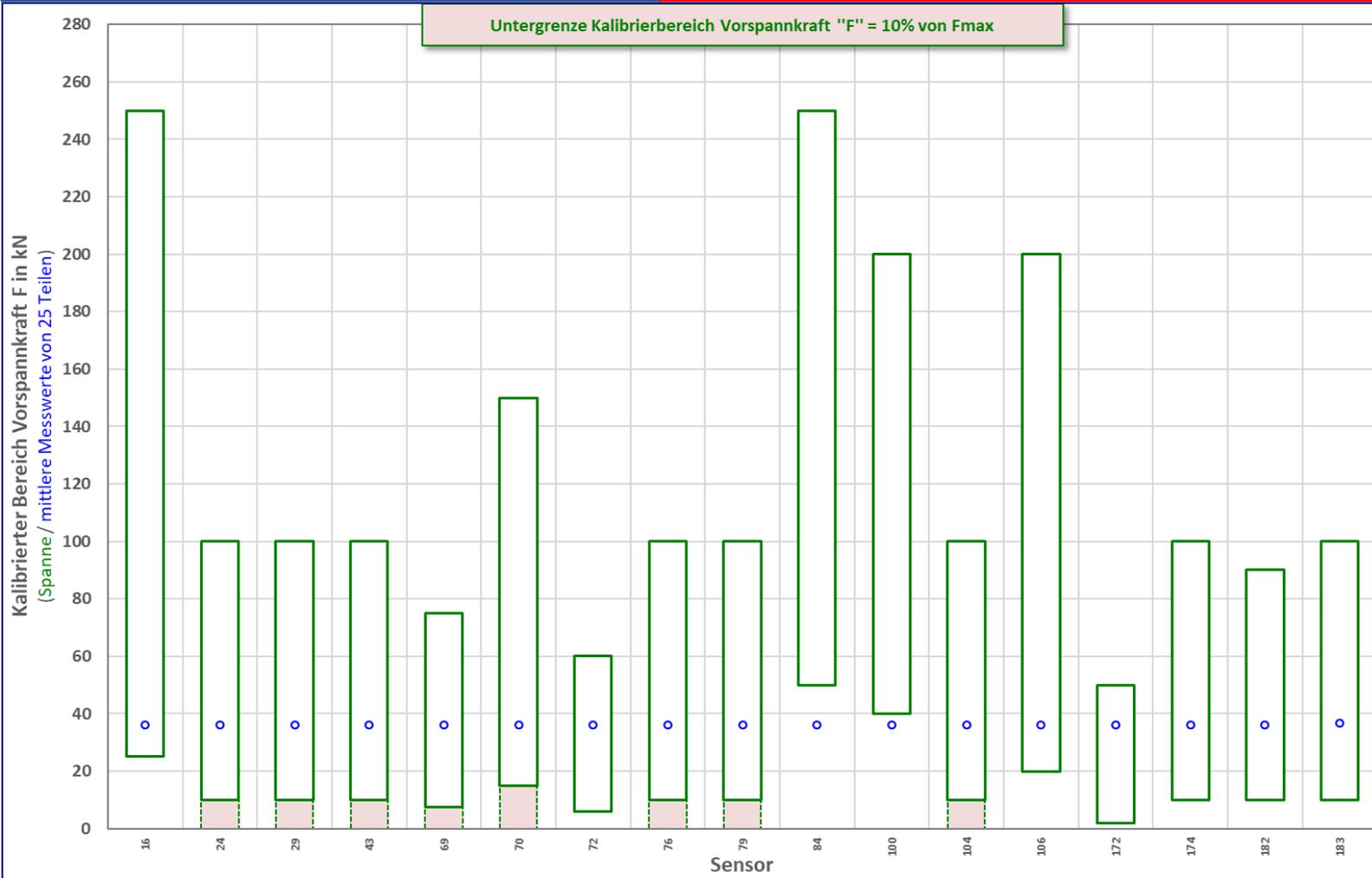
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



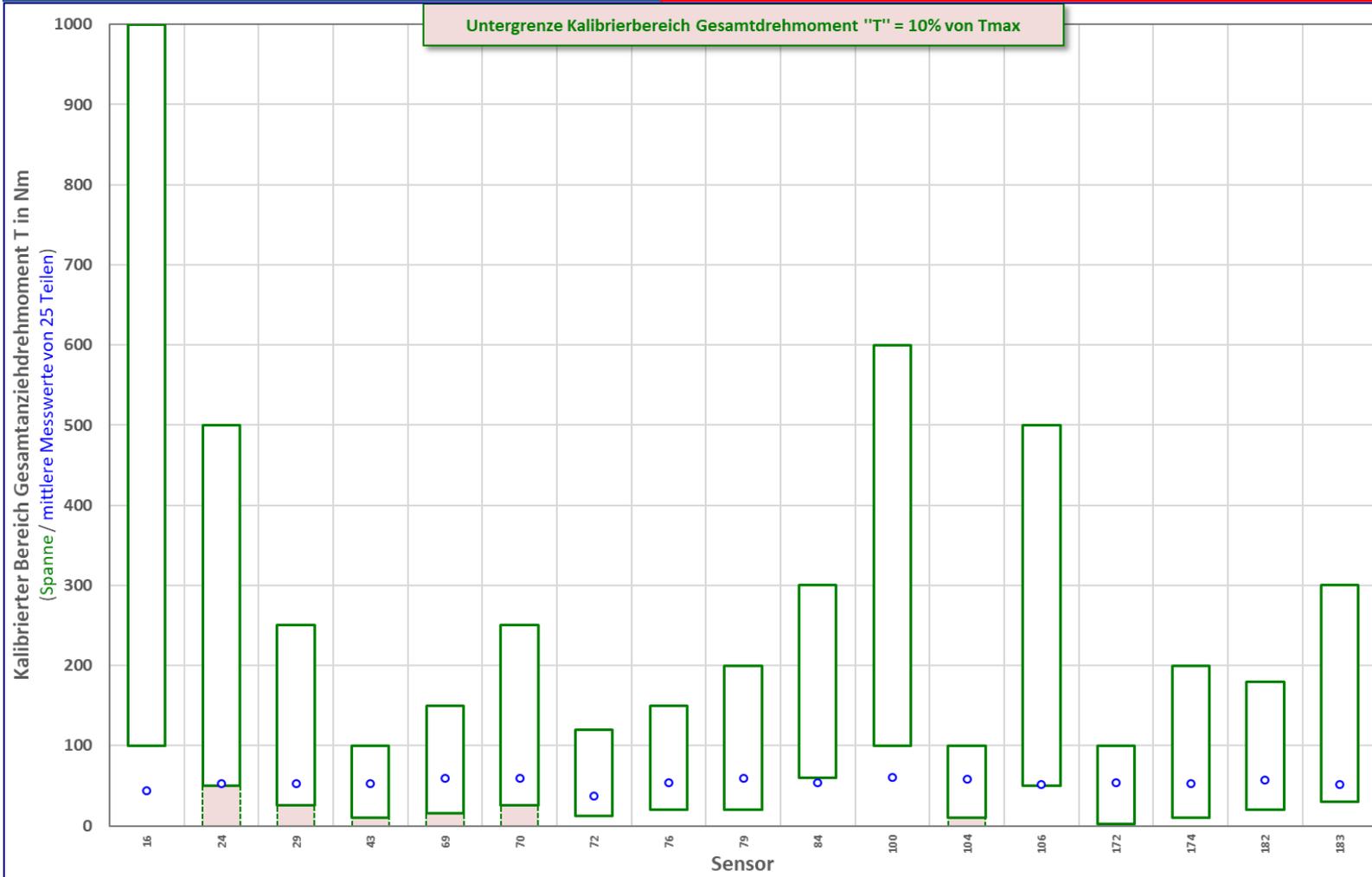
Kalibrierbereich Kraft F
M10 - 20 U/min

min-Wert = 0: Anhebung auf 10% des max-Wertes!



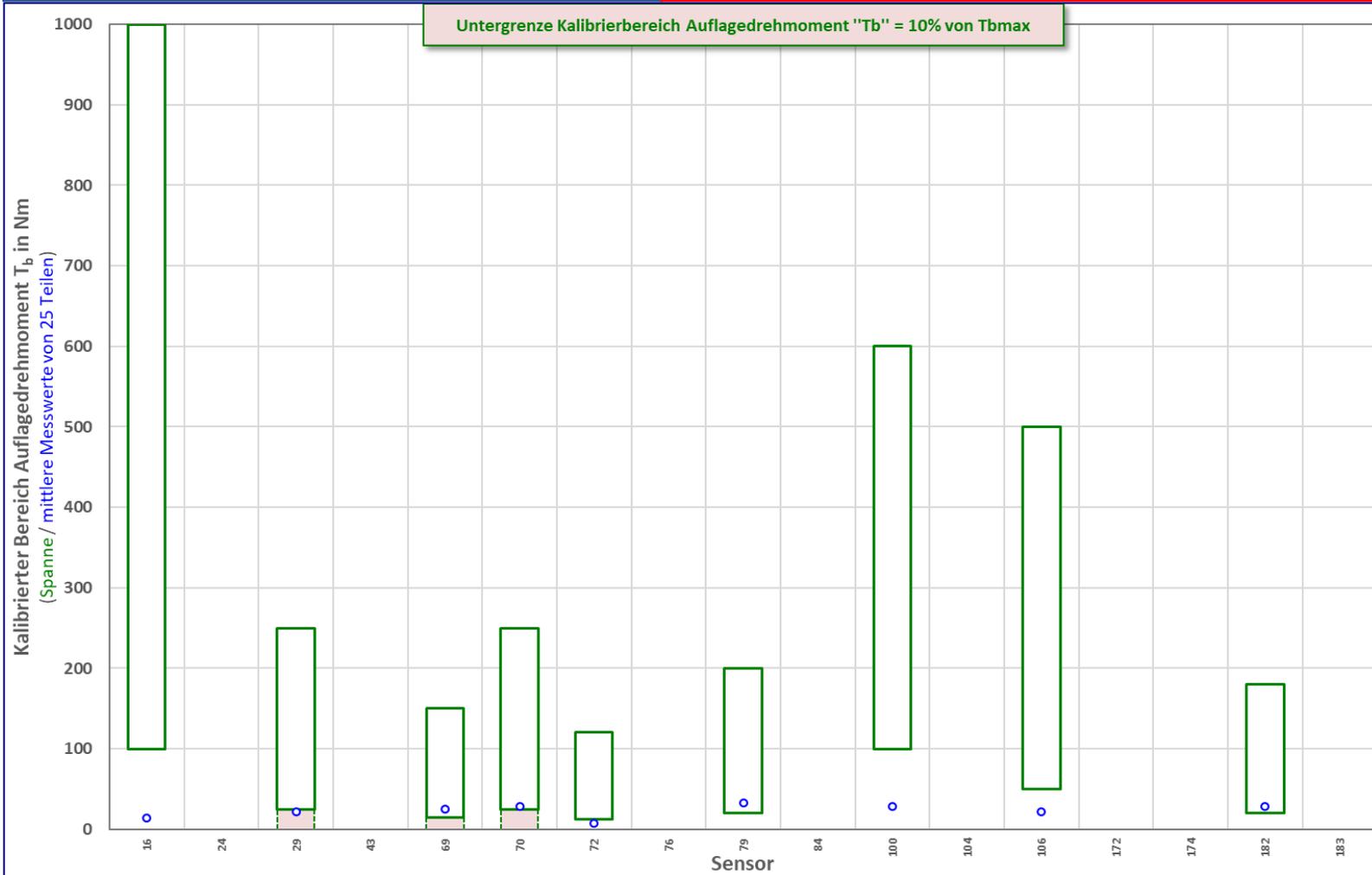
Kalibrierbereich Drehmoment T
M10 - 20 U/min

min-Wert = 0: Anhebung auf 10% des max-Wertes!



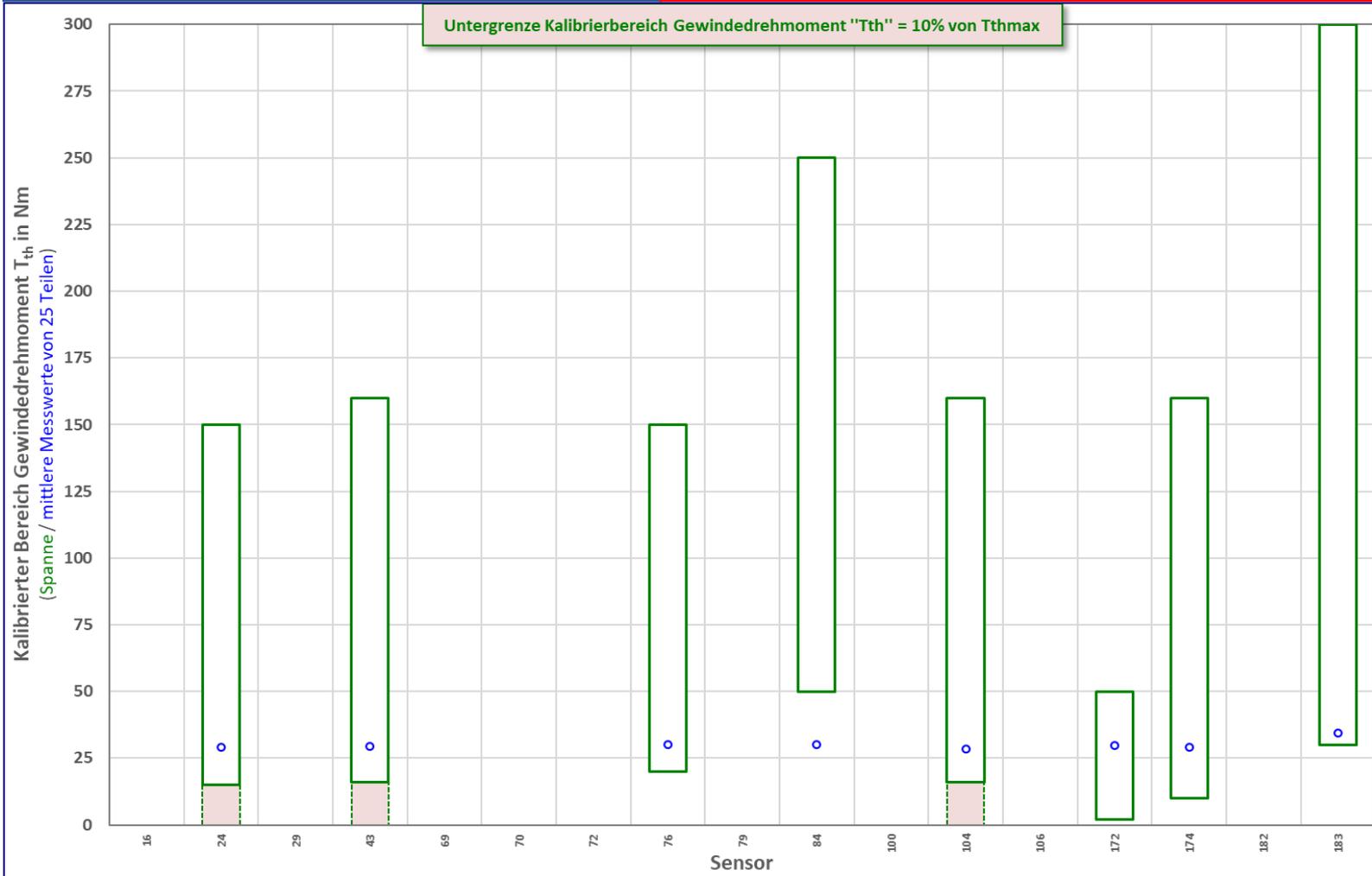
Kalibrierbereich Teildrehmoment T_b
M10 - 20 U/min

min-Wert = 0: Anhebung auf 10% des max-Wertes!



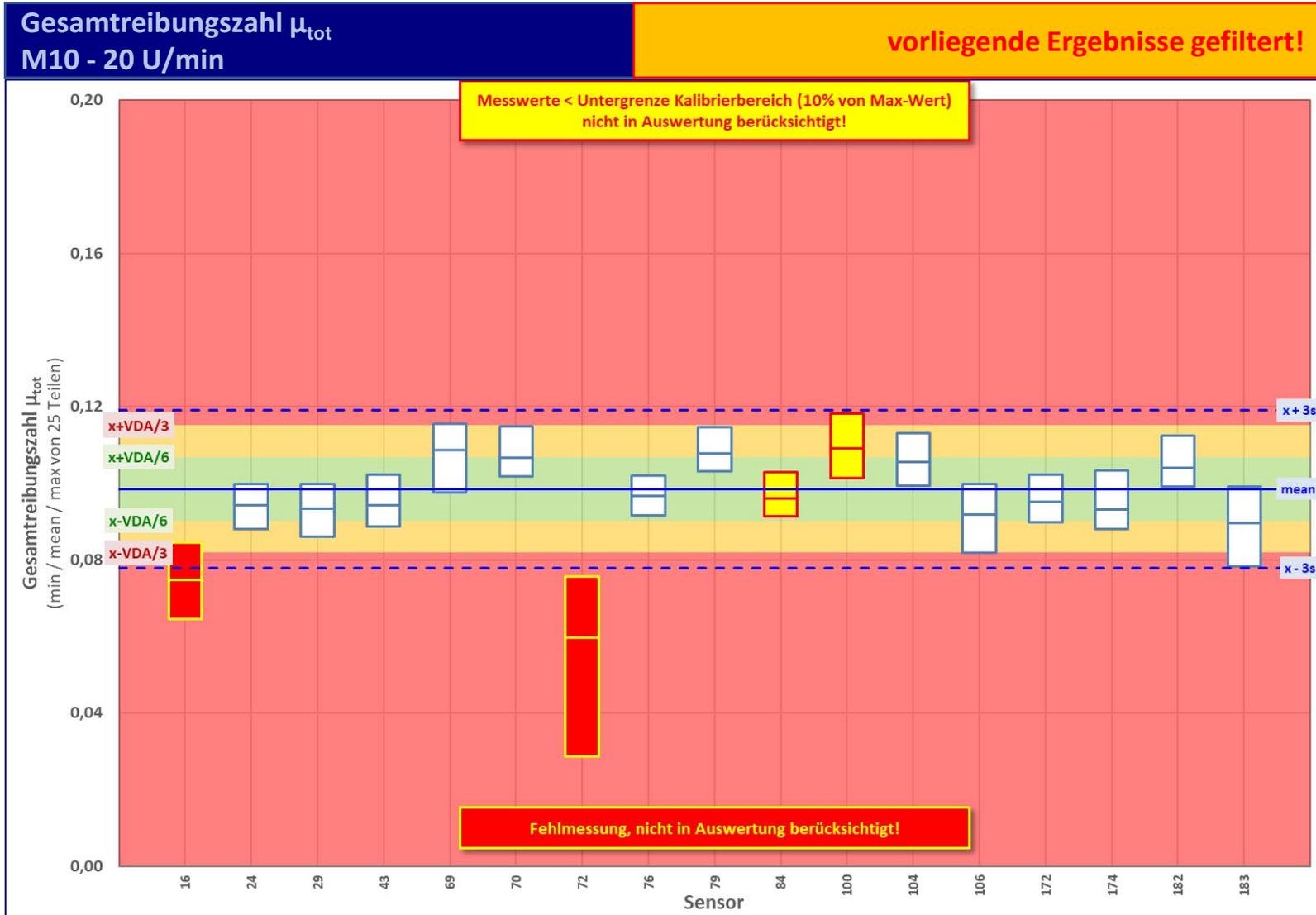
Kalibrierbereich Teildrehmoment T_{th}
M10 - 20 U/min

min-Wert = 0: Anhebung auf 10% des max-Wertes!



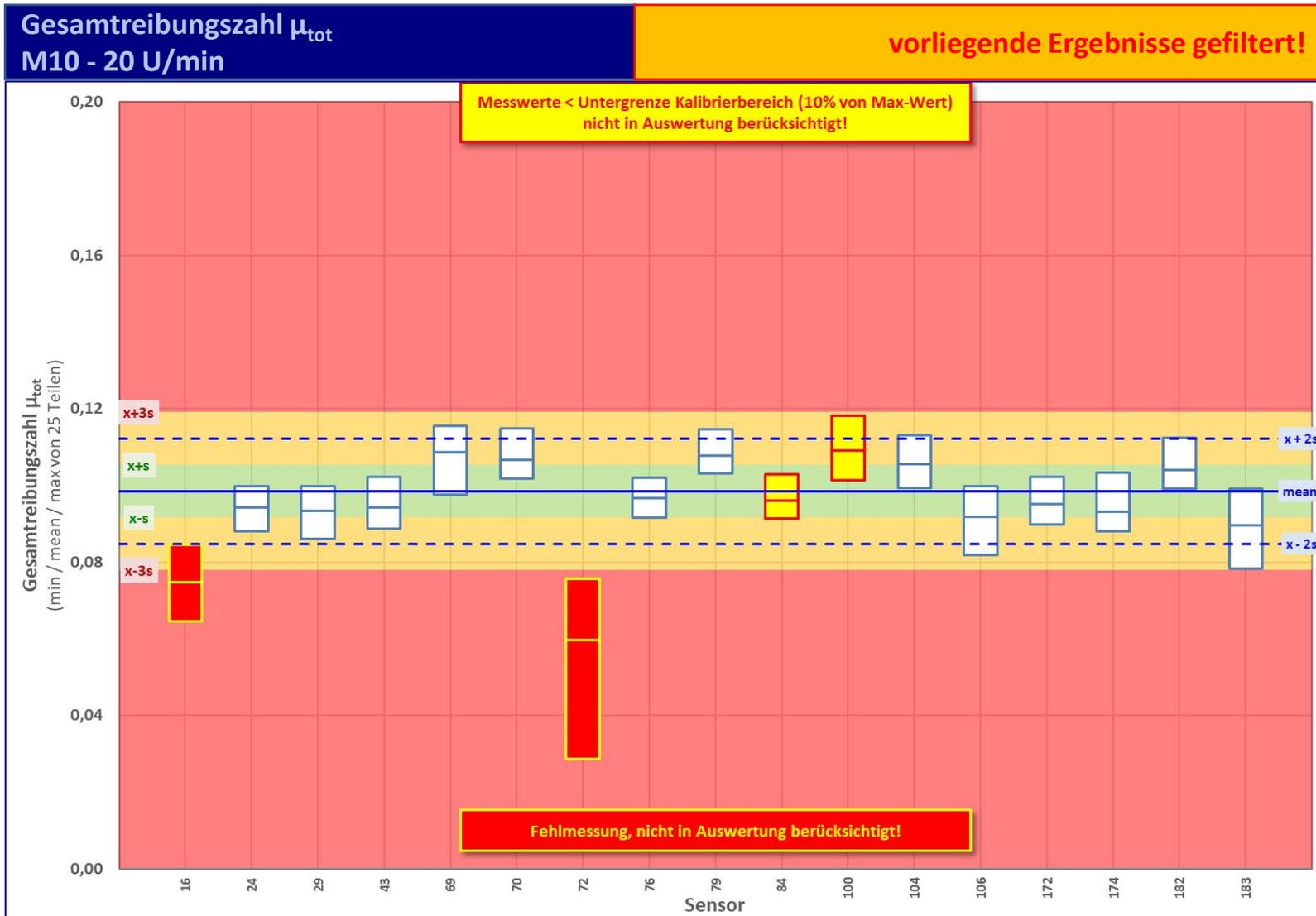
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



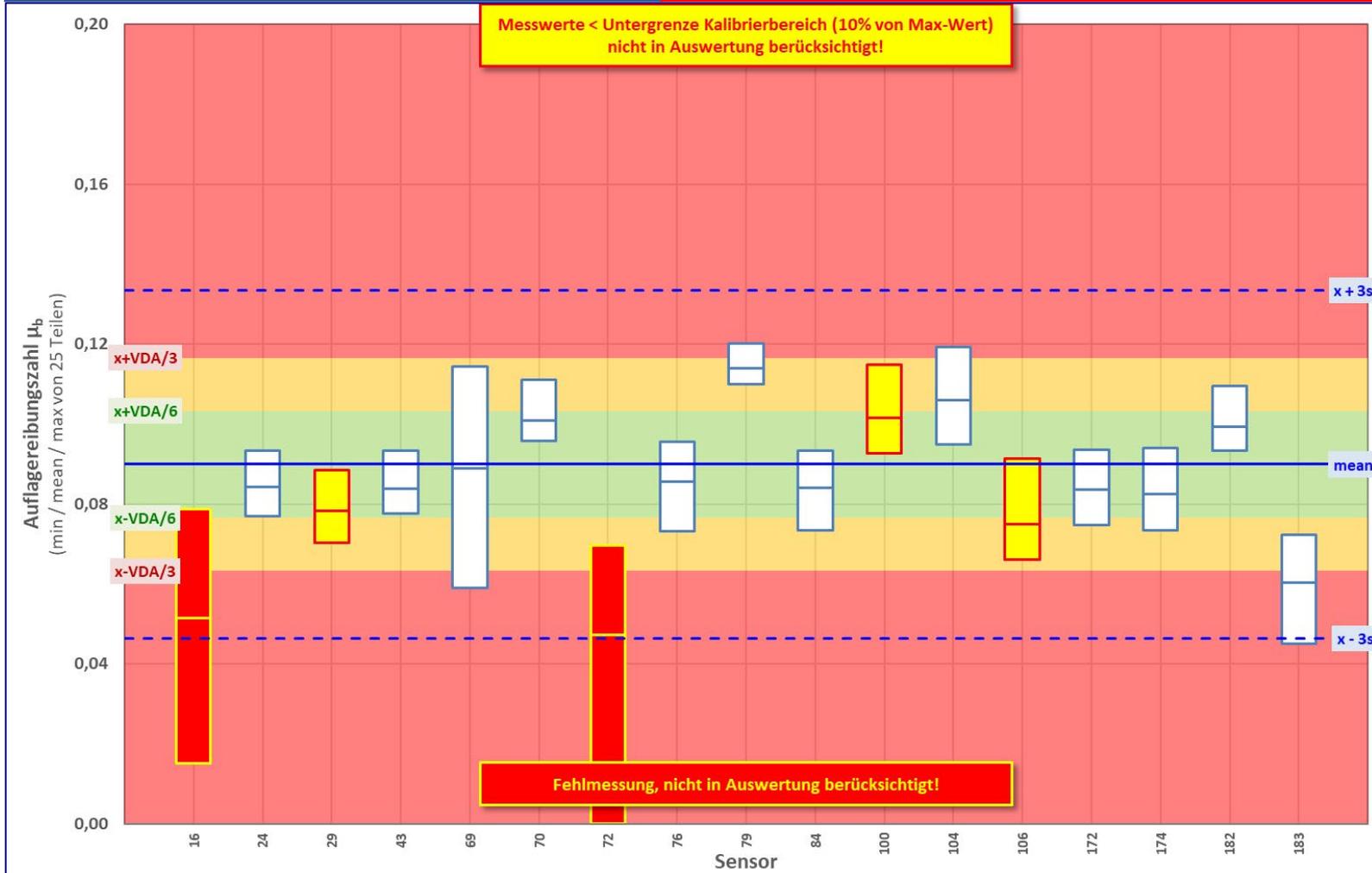
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Auflagereibungszahl μ_b
M10 - 20 U/min

vorliegende Ergebnisse gefiltert!



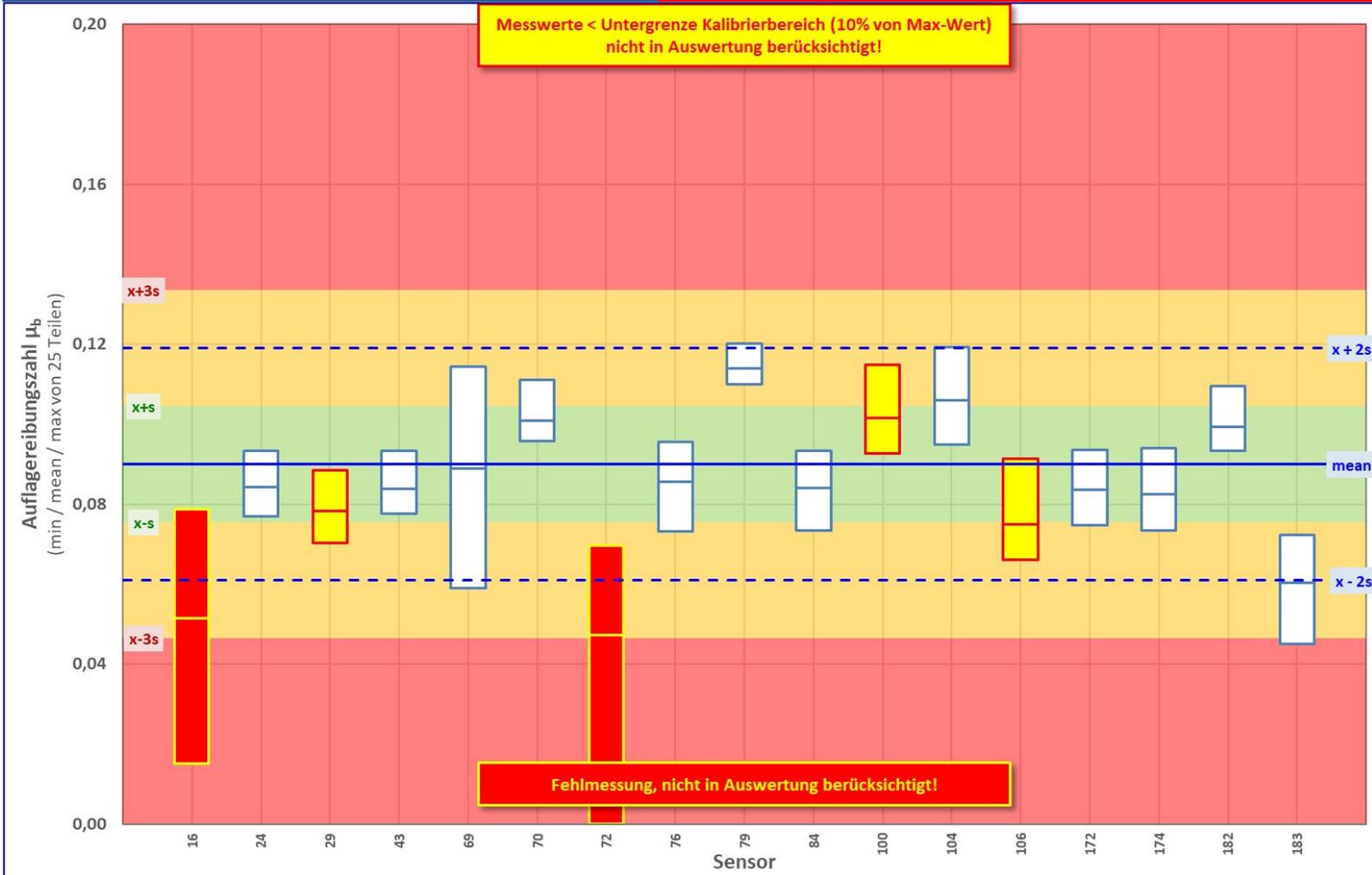
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



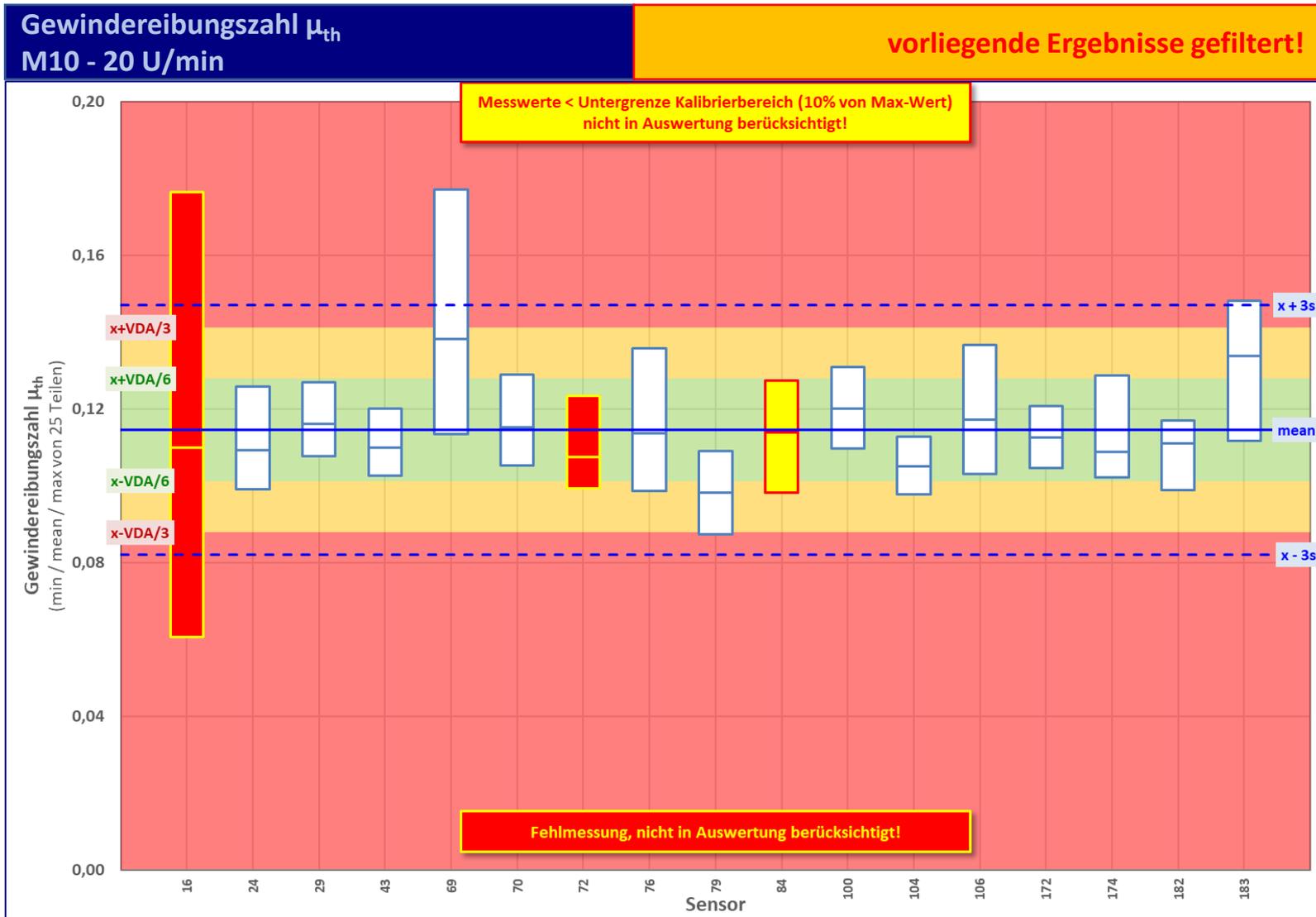
Auflagereibungszahl μ_b
M10 - 20 U/min

vorliegende Ergebnisse gefiltert!



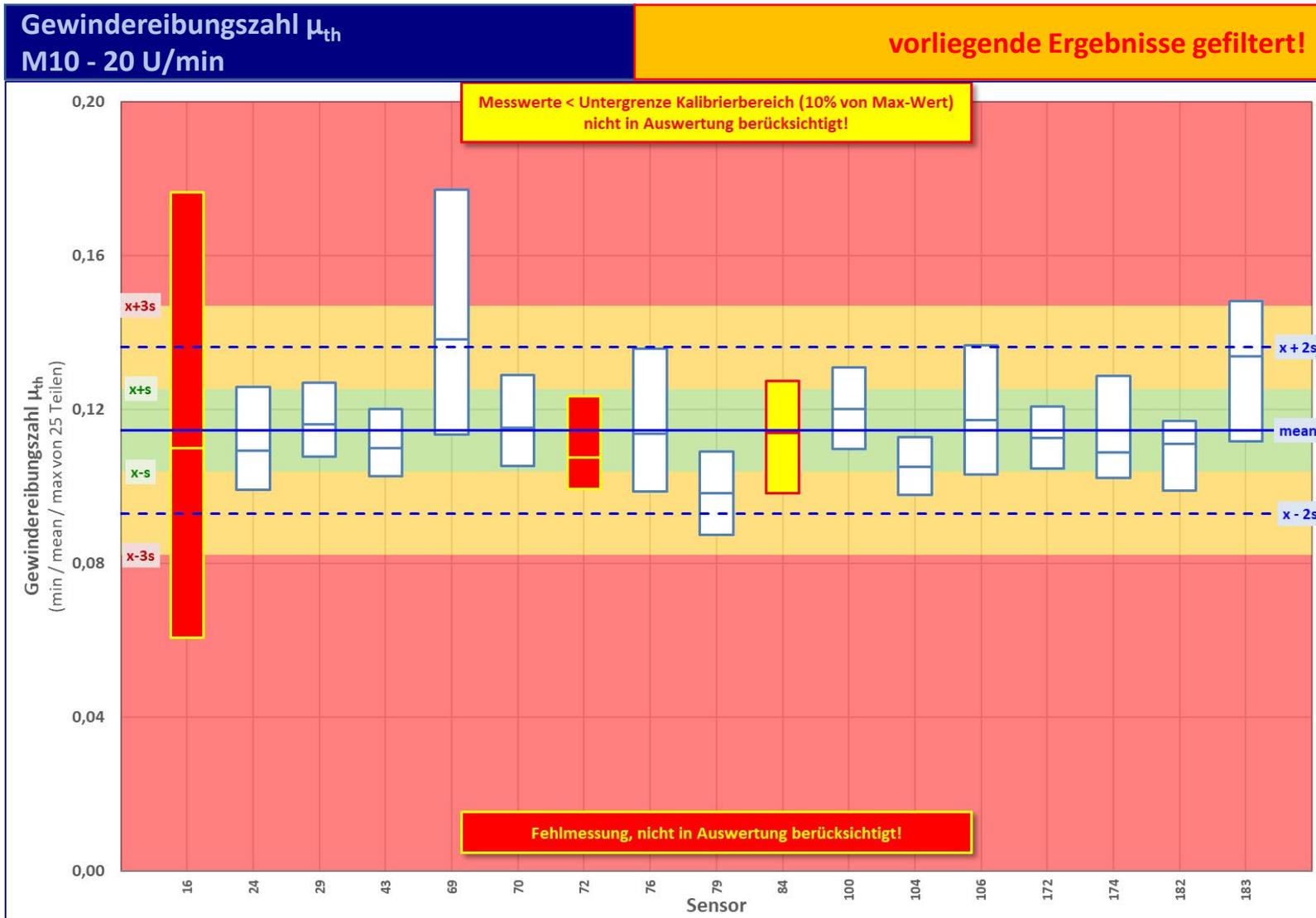
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



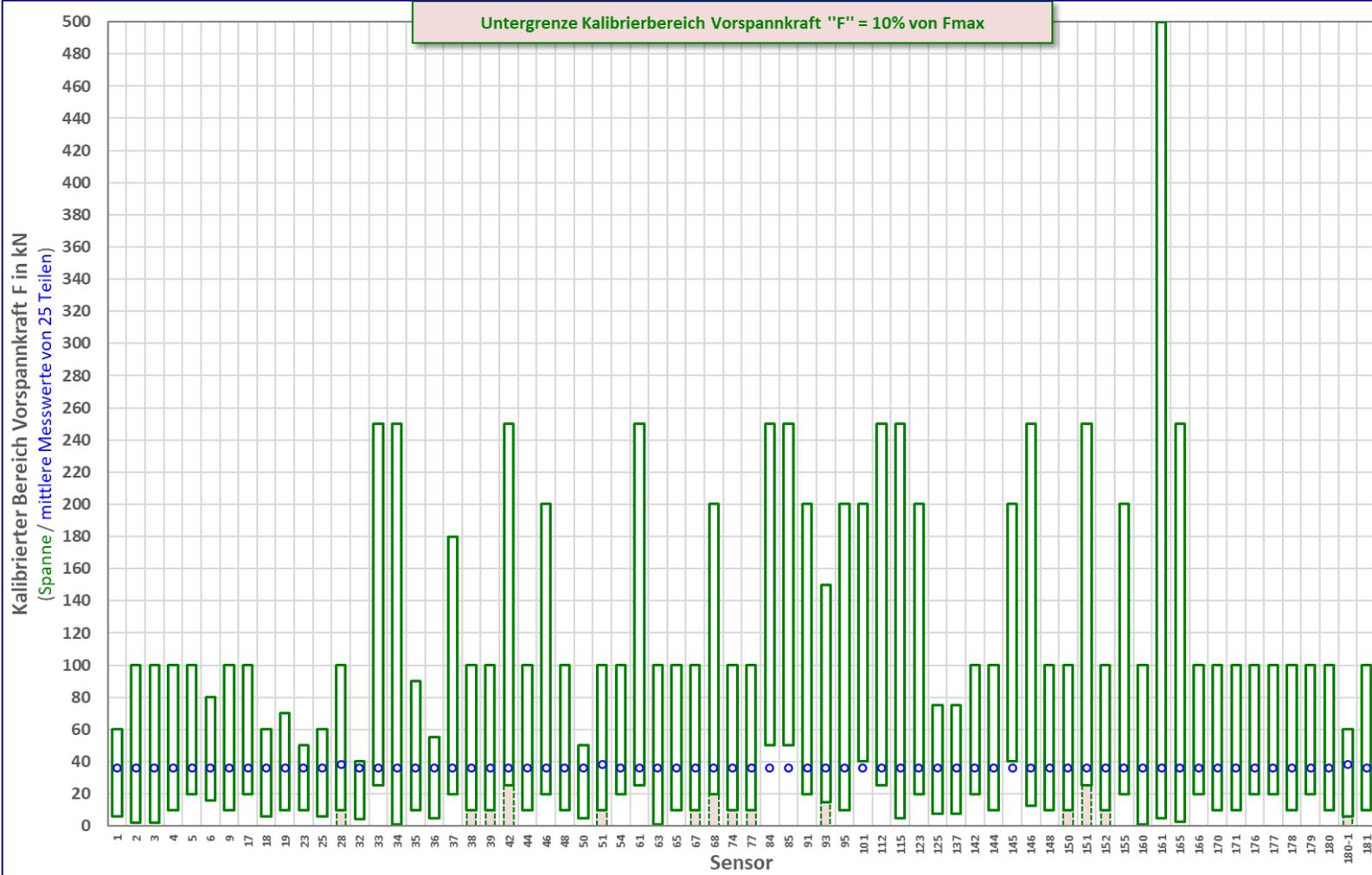
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



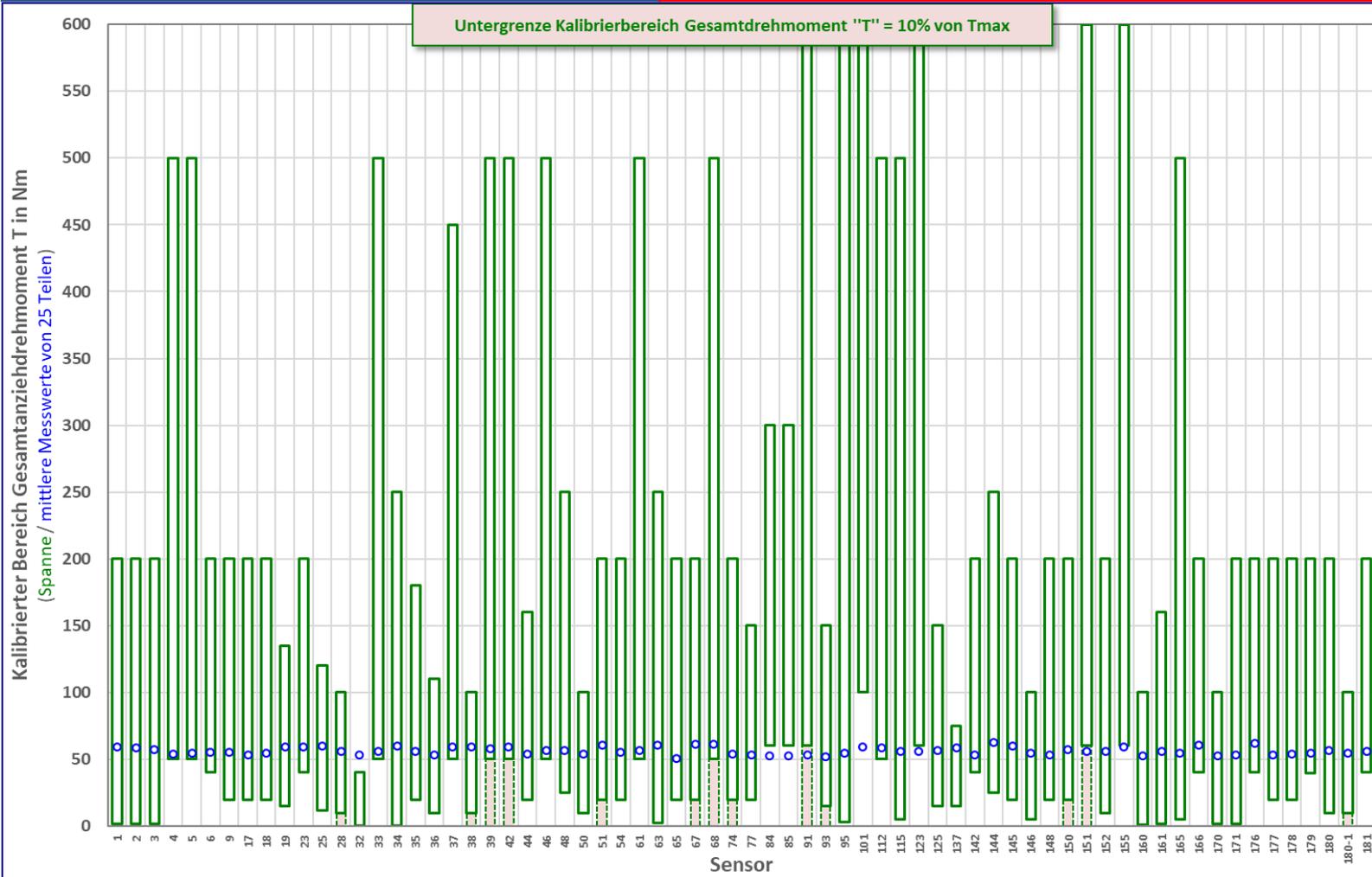
Kalibrierbereich Kraft F
M10 - 200 U/min

min-Wert = 0: Anhebung auf 10% des max-Wertes!



Kalibrierbereich Drehmoment T
M10 - 200 U/min

min-Wert = 0: Anhebung auf 10% des max-Wertes!



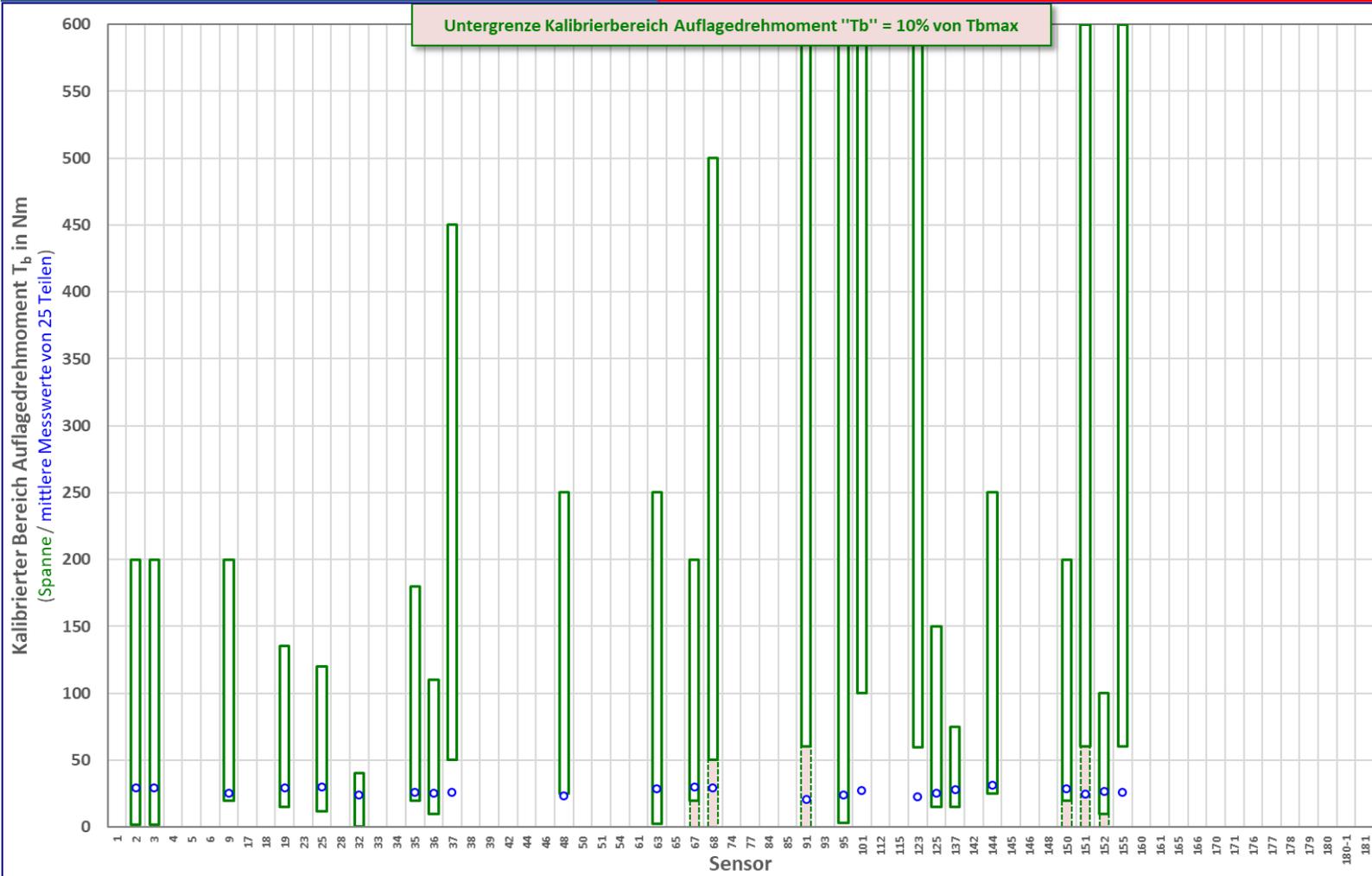
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Kalibrierbereich Teildrehmoment T_b
M10 - 200 U/min

min-Wert = 0: Anhebung auf 10% des max-Wertes!



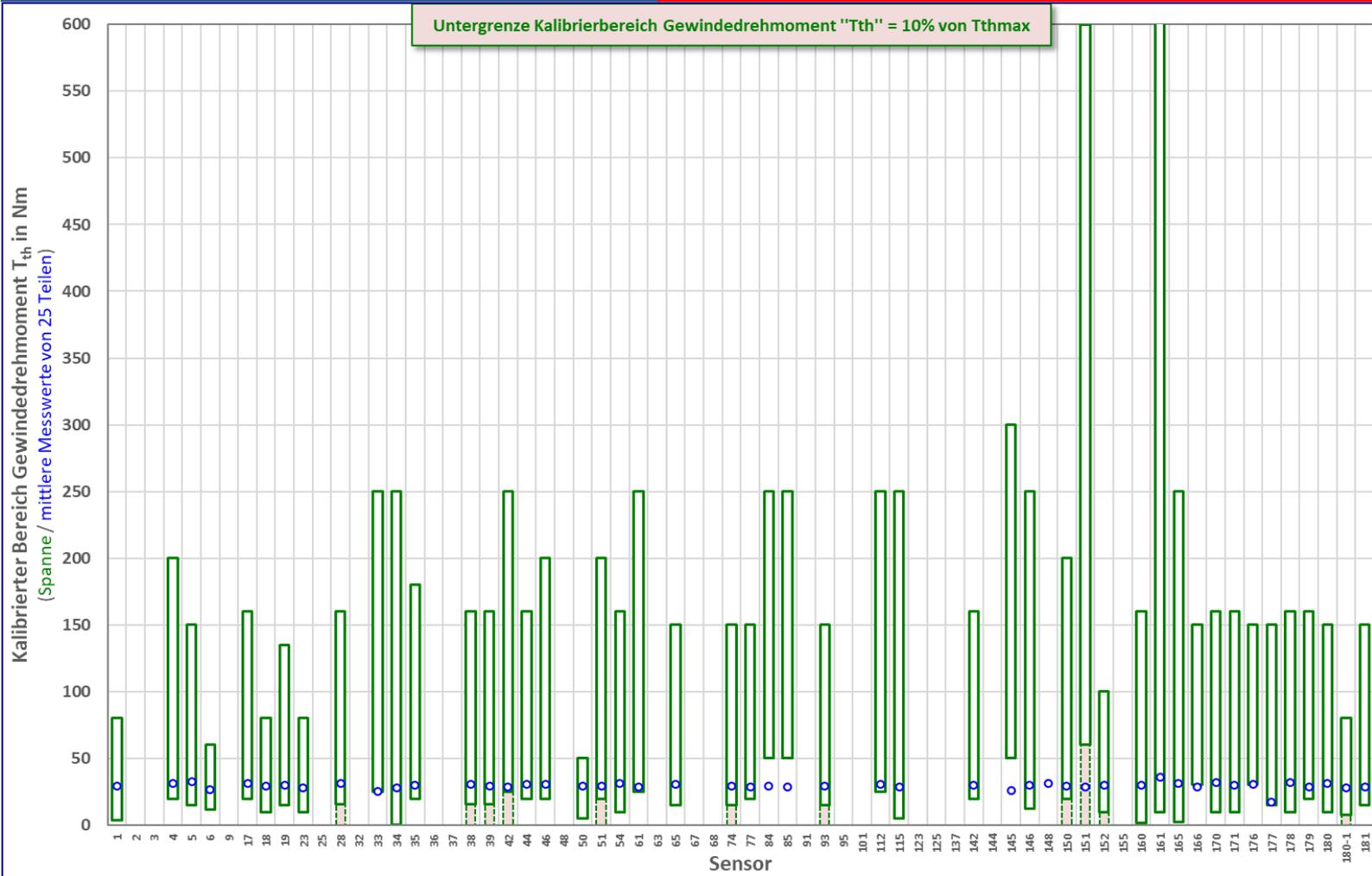
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Kalibrierbereich Teildrehmoment T_{th}
M10 - 200 U/min

min-Wert = 0: Anhebung auf 10% des max-Wertes!



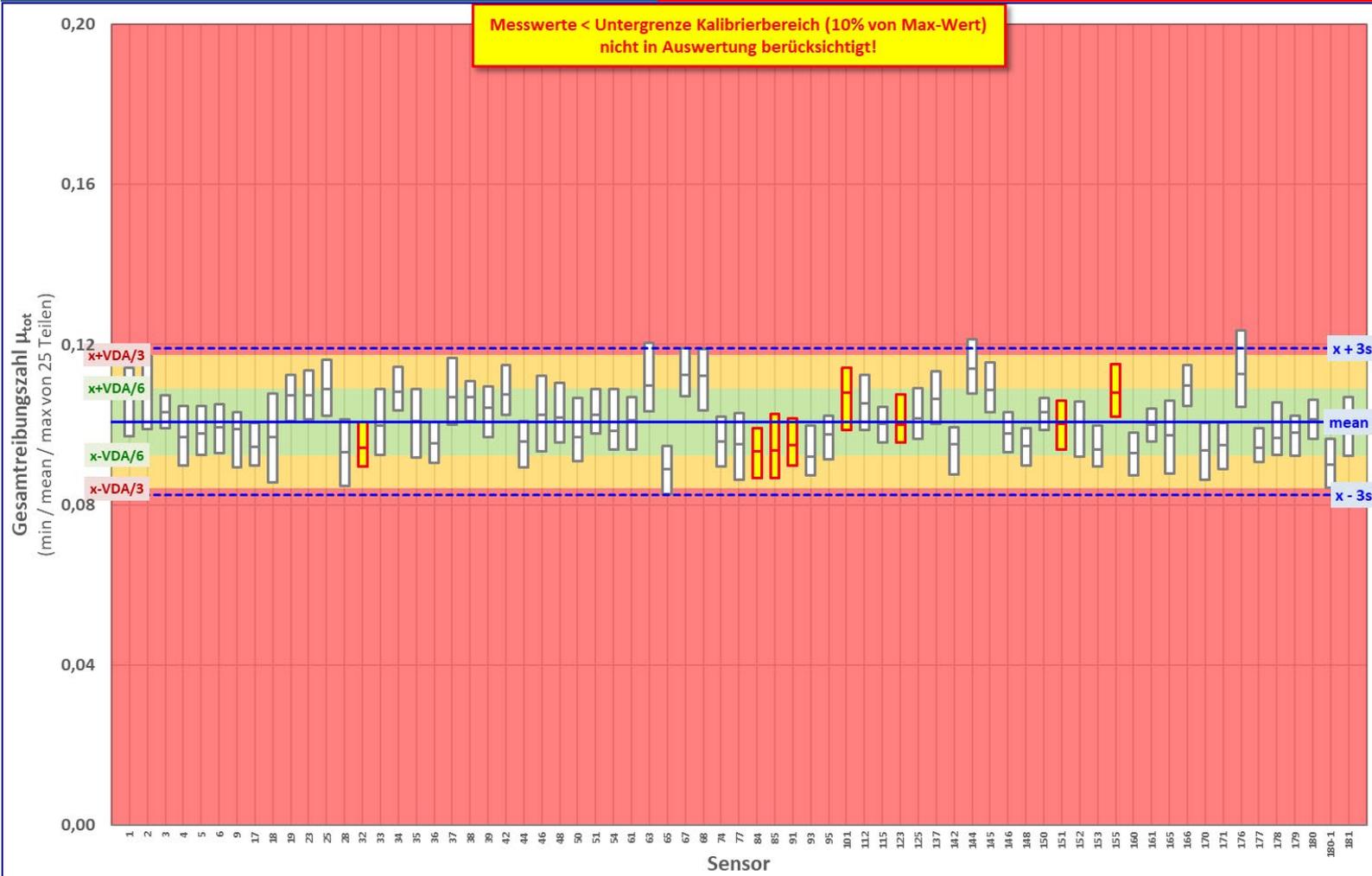
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



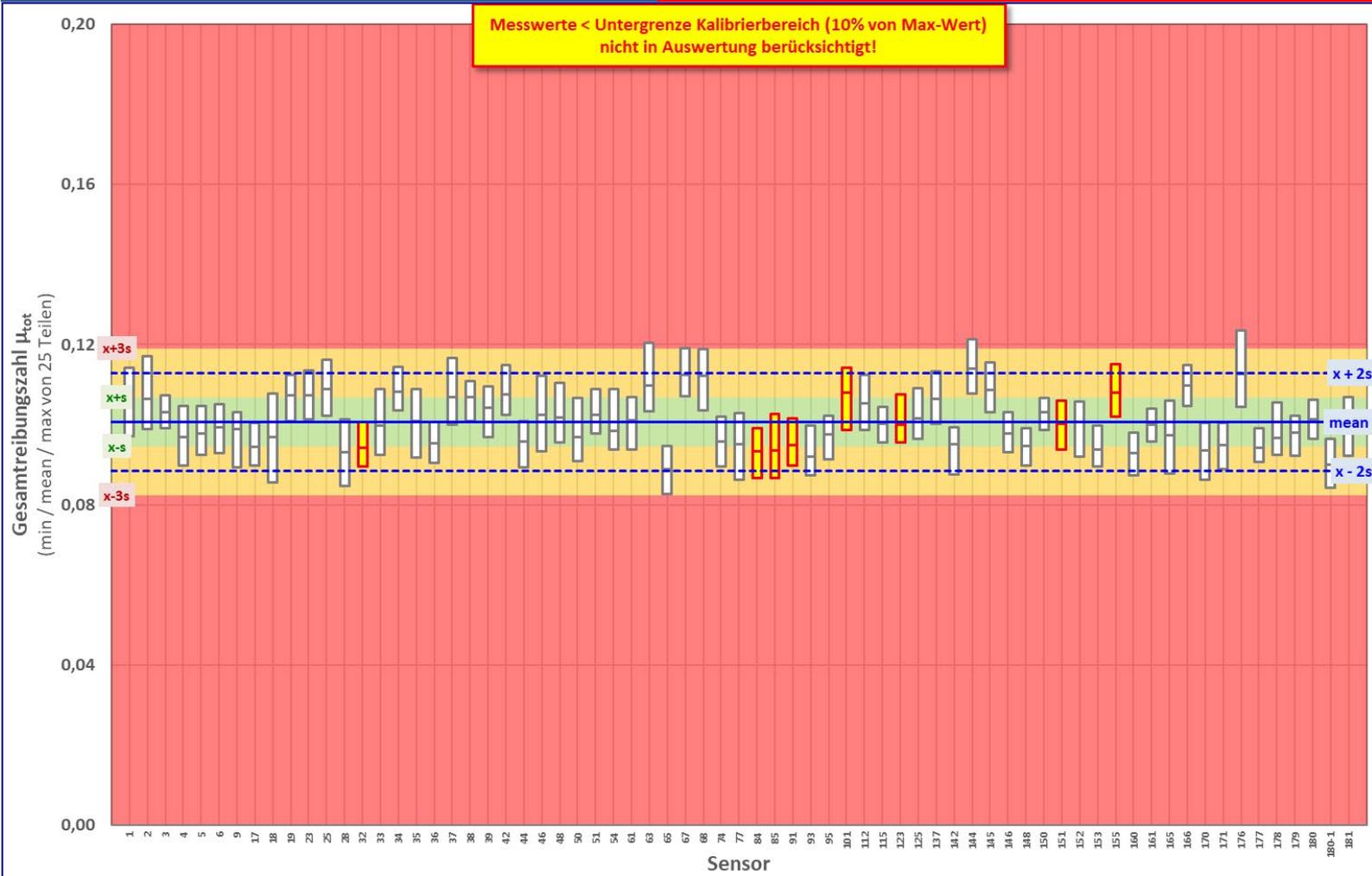
Gesamtreibungszahl μ_{tot} 1. Anzug
M10 - 200 U/min

vorliegende Ergebnisse gefiltert!



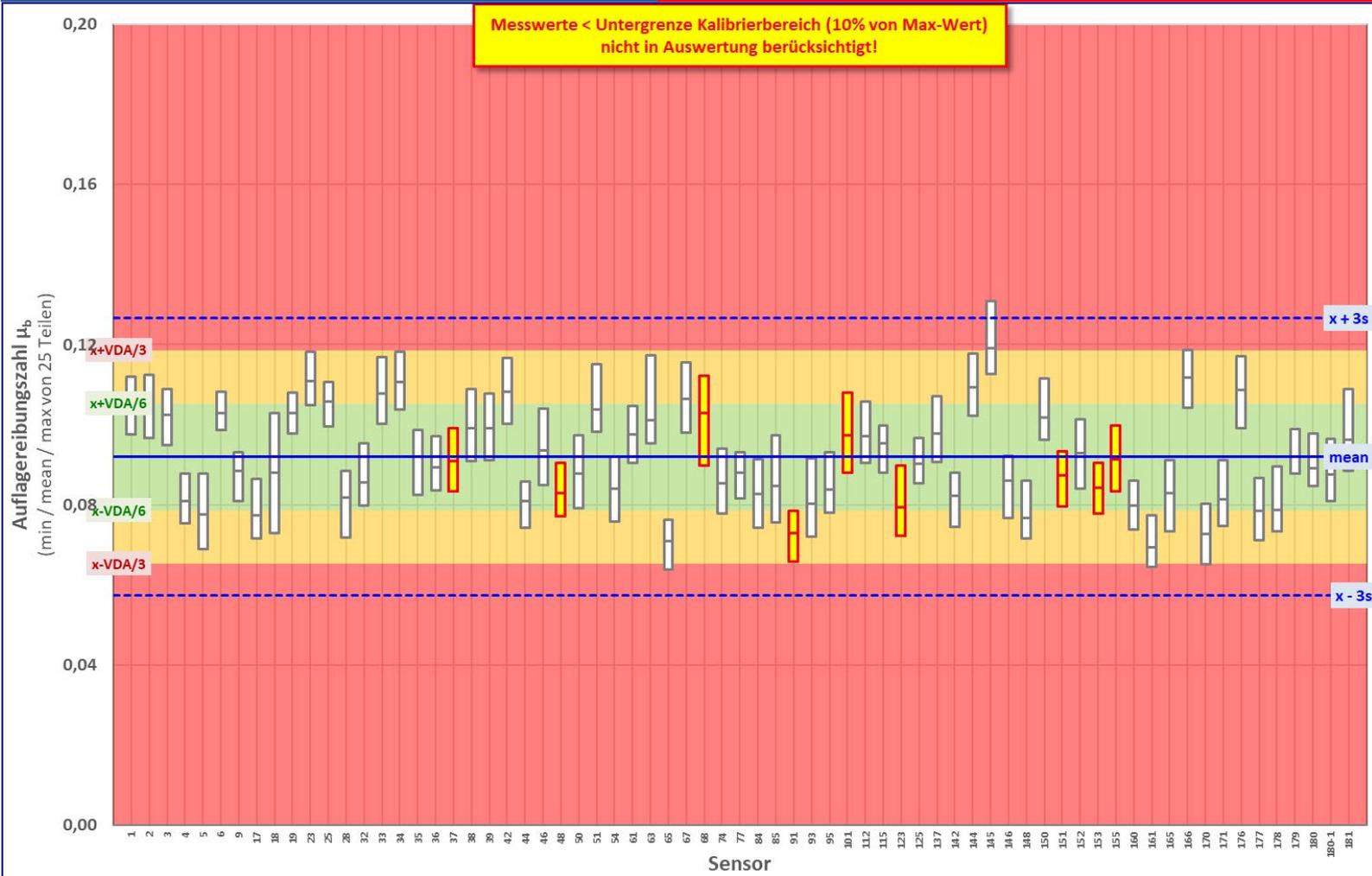
Gesamtreibungszahl μ_{tot} 1. Anzug
M10 - 200 U/min

vorliegende Ergebnisse gefiltert!



Auflagereibungszahl μ_b , 1. Anzug
M10 - 200 U/min

vorliegende Ergebnisse gefiltert!



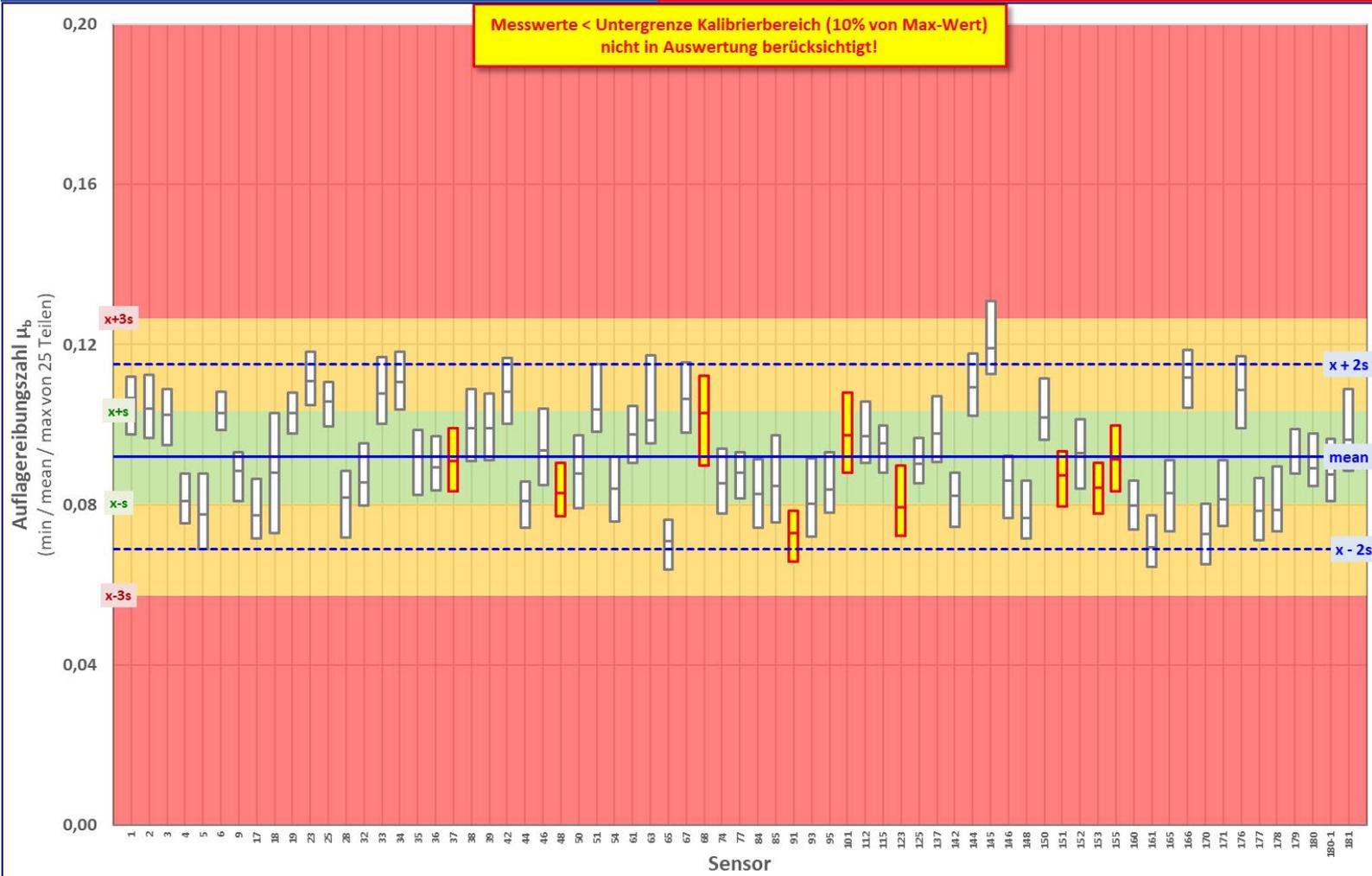
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Auflagereibungszahl μ_b , 1. Anzug
M10 - 200 U/min

vorliegende Ergebnisse gefiltert!



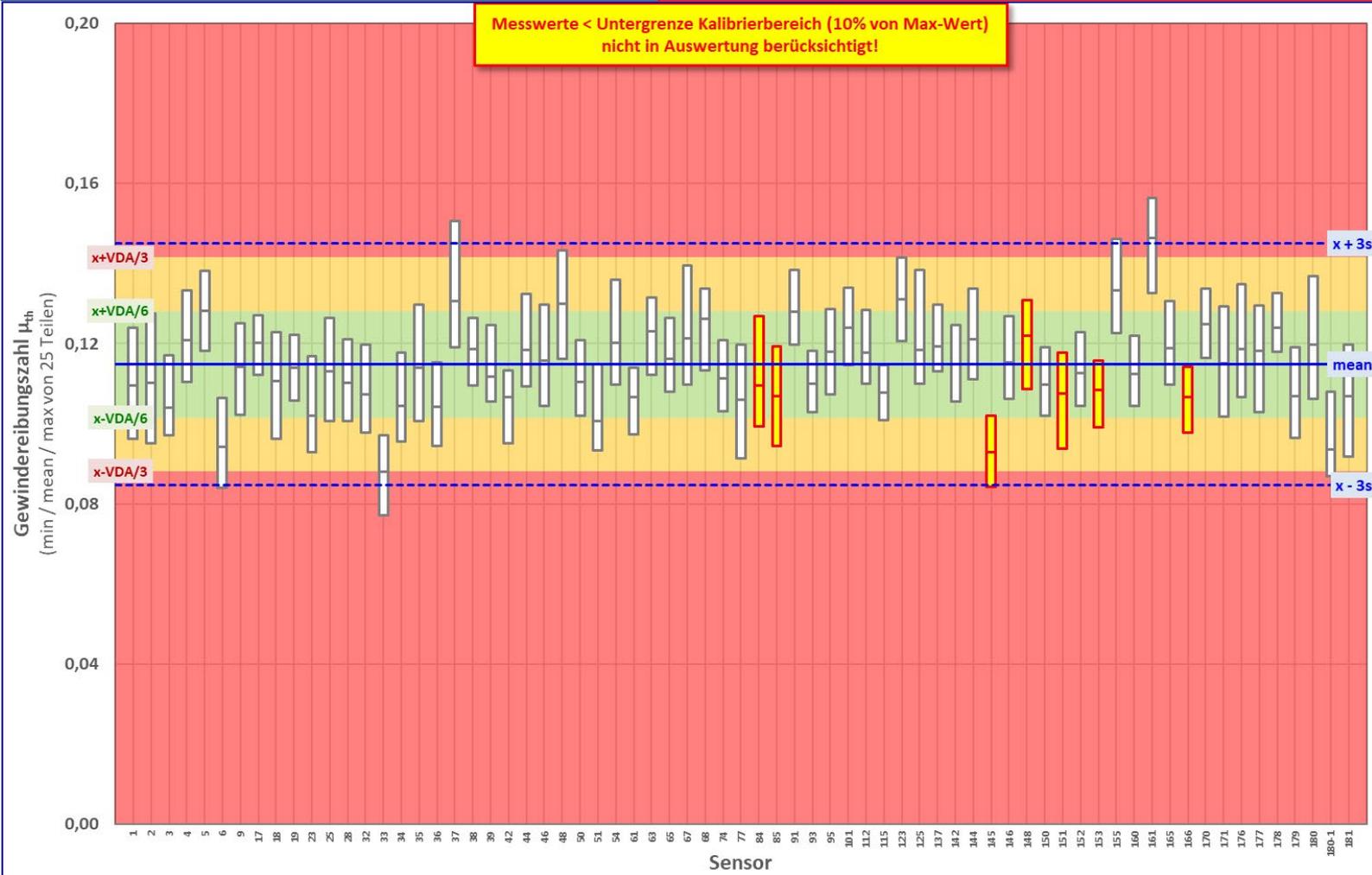
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Gewindereibungszahl μ_{th} , 1. Anzug
M10 - 200 U/min

vorliegende Ergebnisse gefiltert!



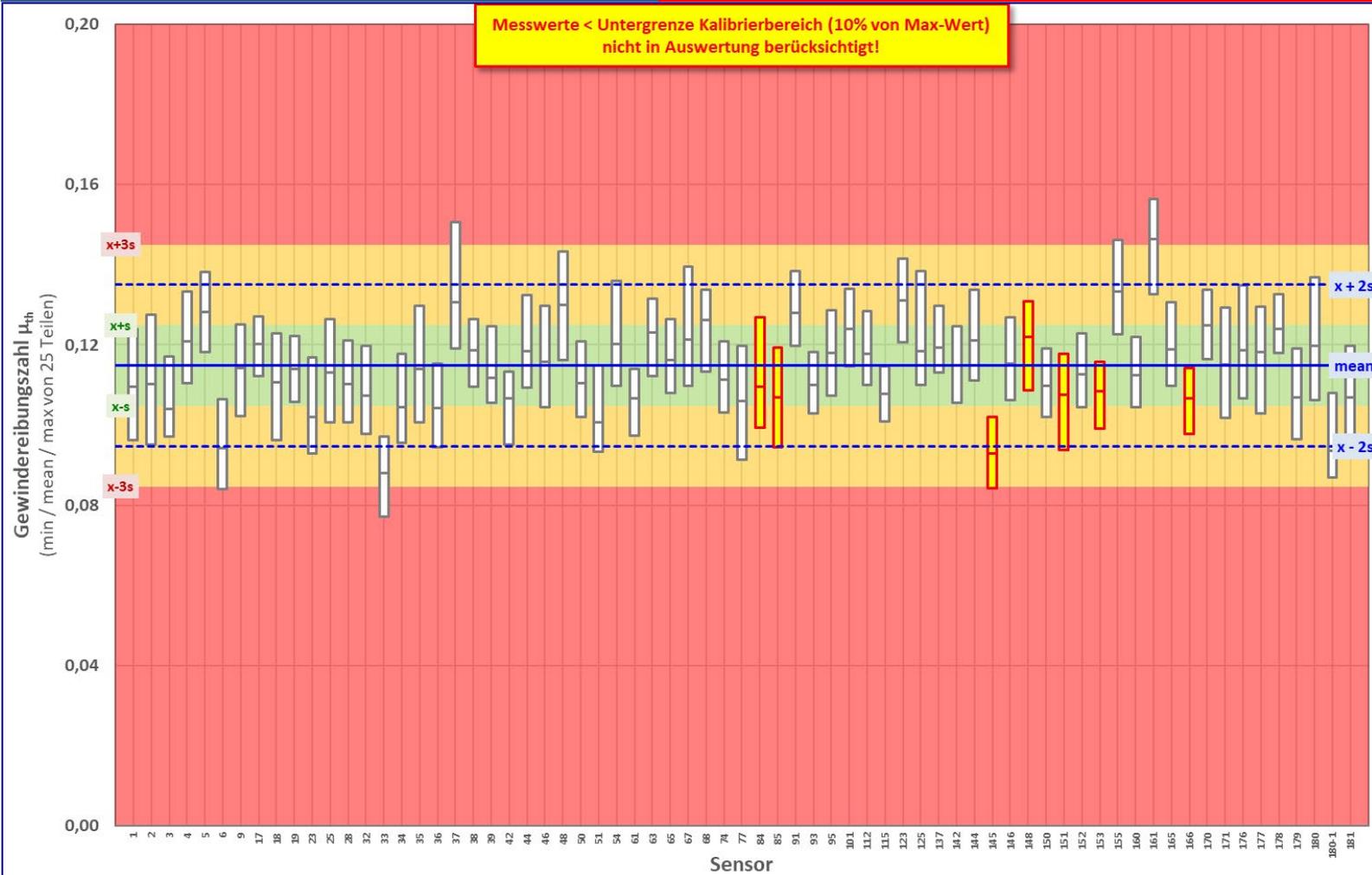
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Gewindereibungszahl μ_{th} , 1. Anzug
M10 - 200 U/min

vorliegende Ergebnisse gefiltert!



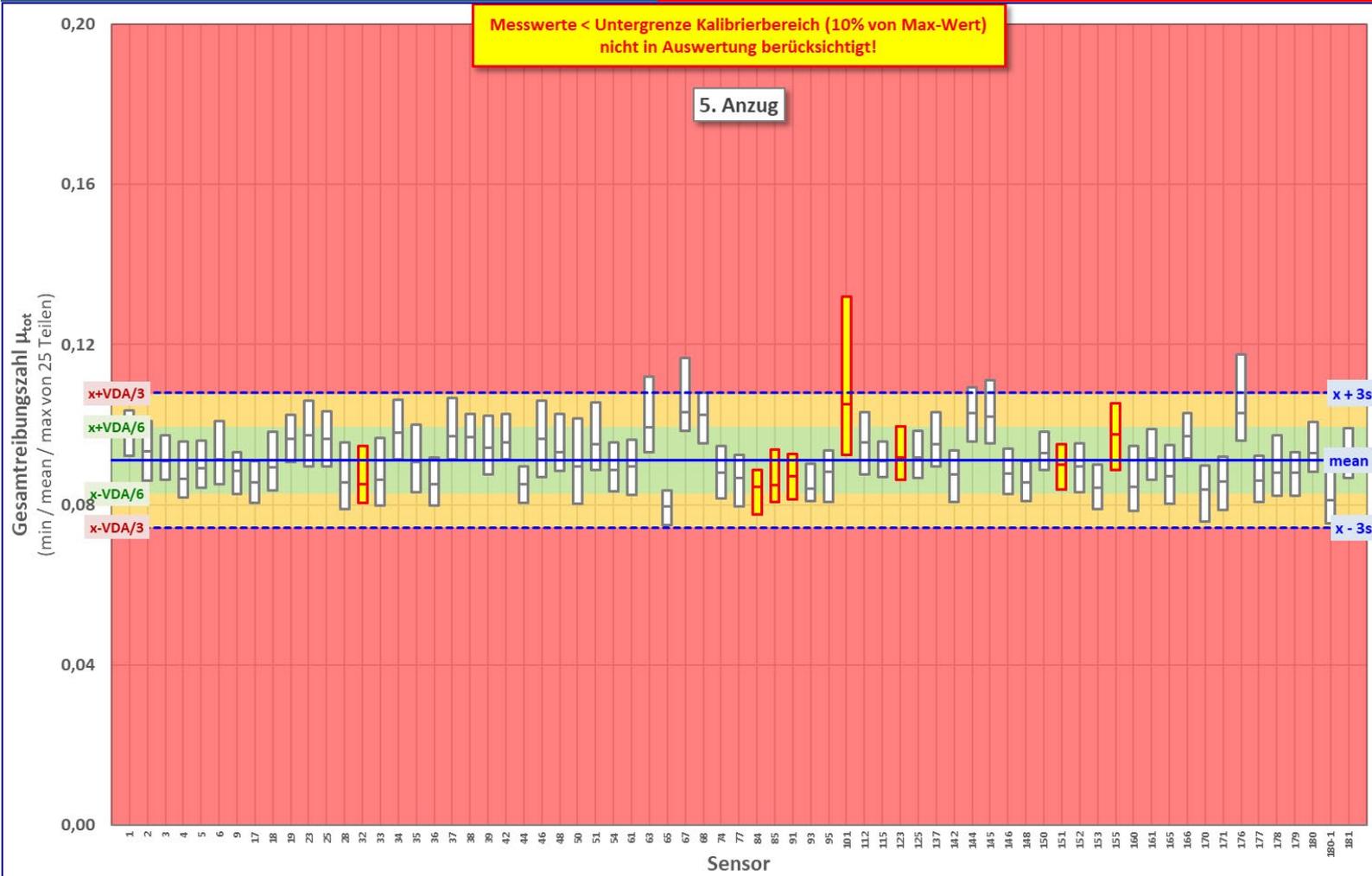
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Gesamtreibungszahl μ_{tot} 5. Anzug
M10 - 200 U/min

vorliegende Ergebnisse gefiltert!



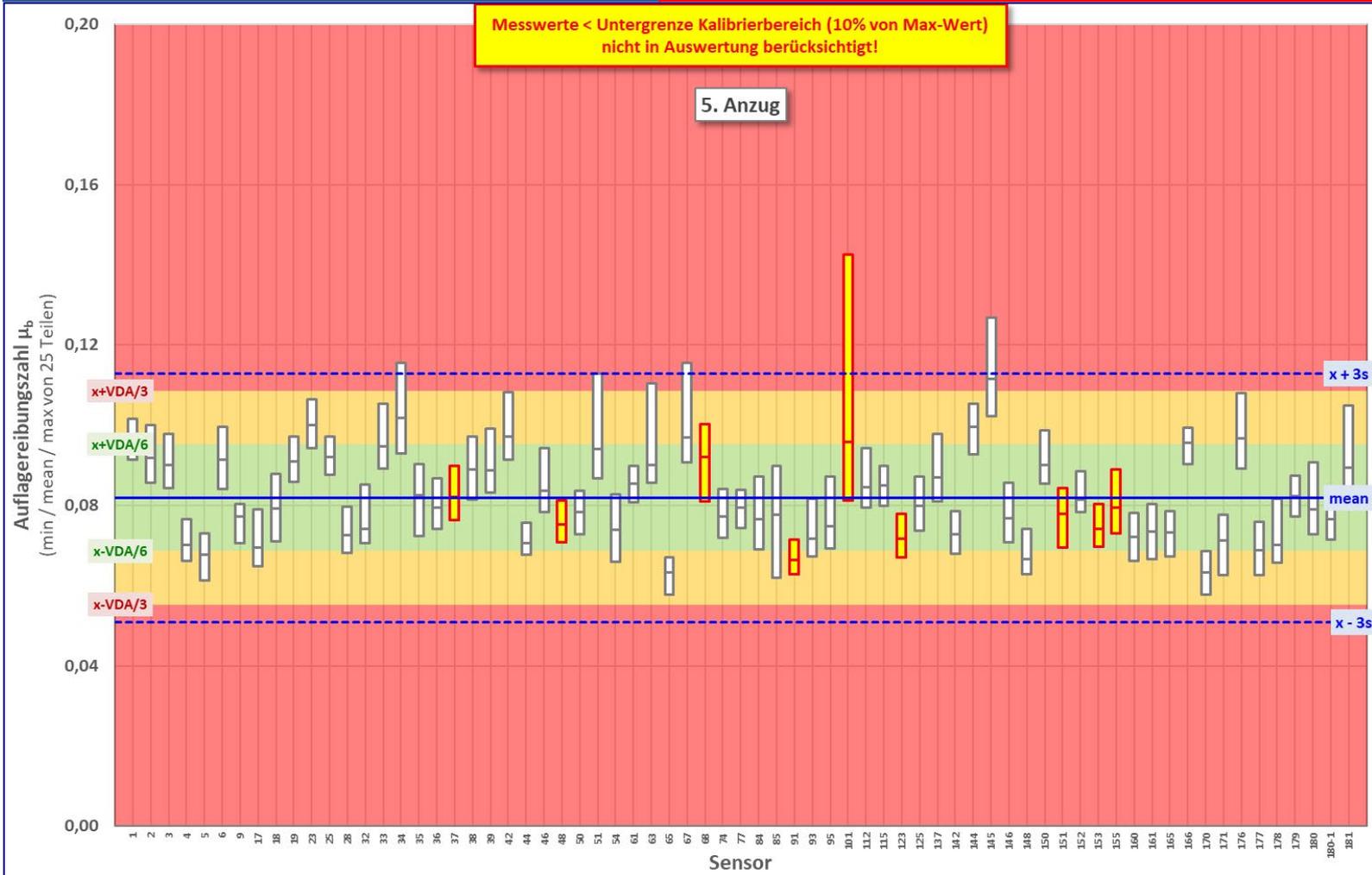
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



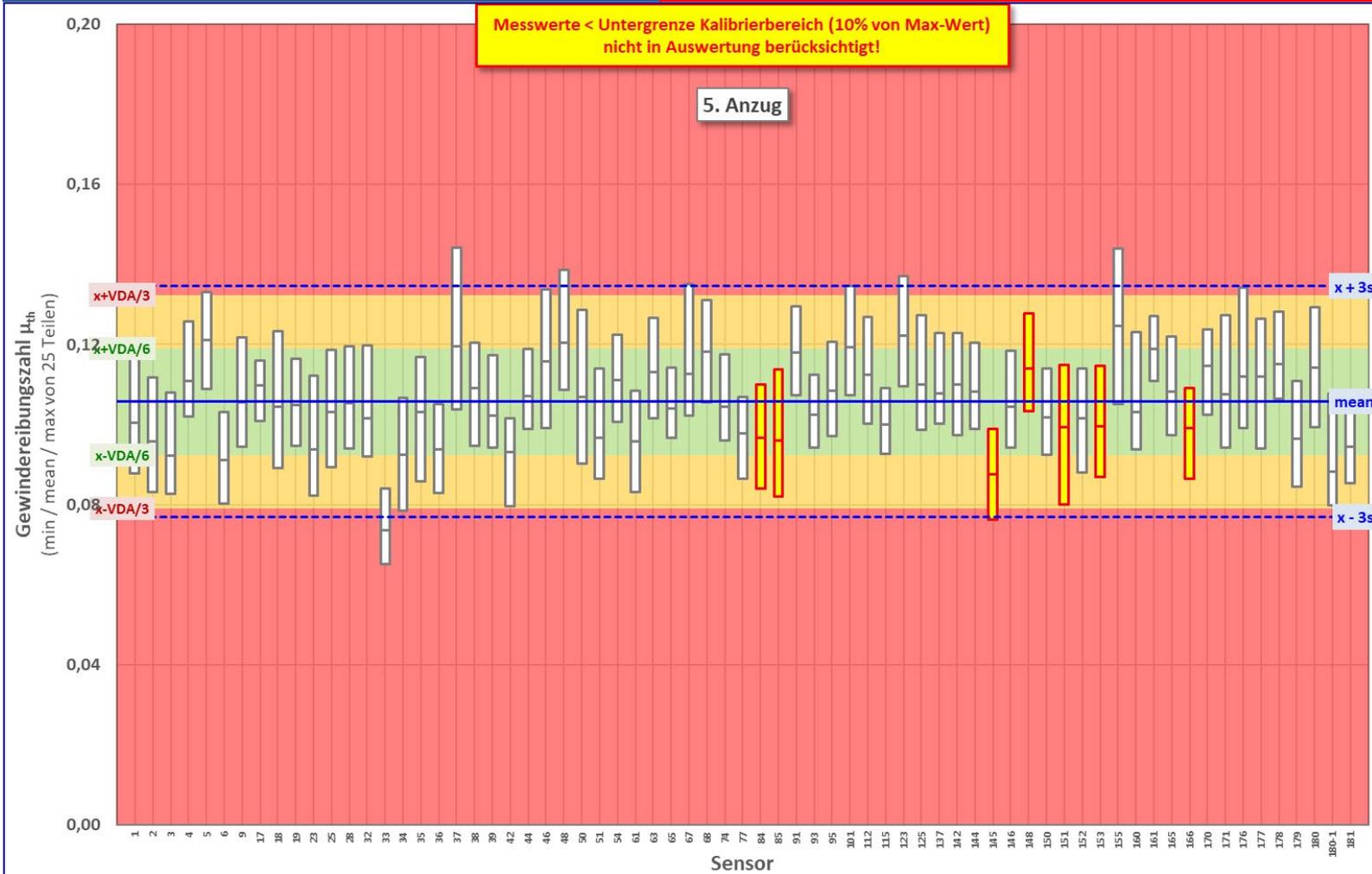
Auflagereibungszahl μ_b , 5. Anzug
M10 - 200 U/min

vorliegende Ergebnisse gefiltert!



Gewindereibungszahl μ_{th} , 5. Anzug
M10 - 200 U/min

vorliegende Ergebnisse gefiltert!



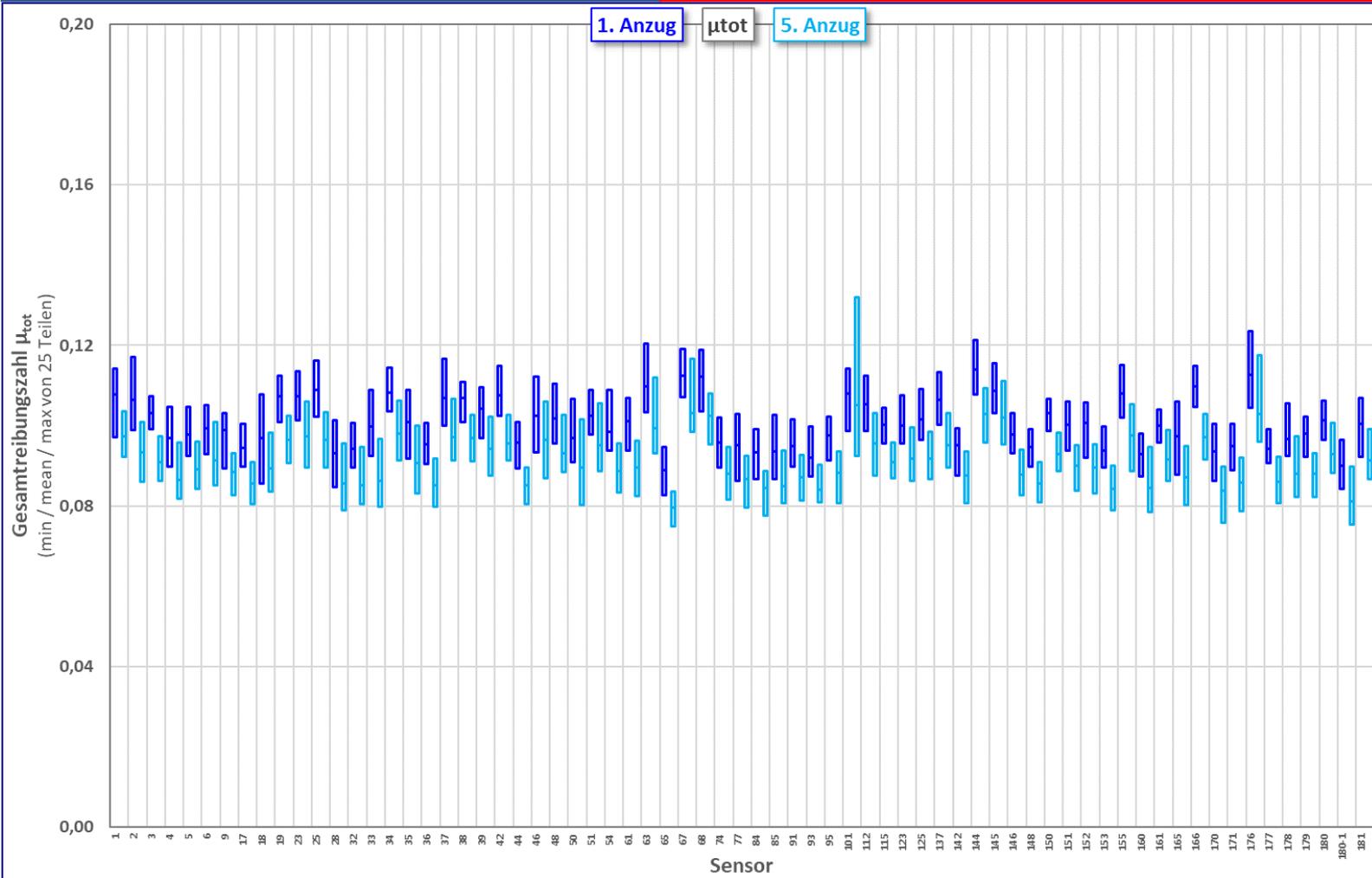
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Gesamtreibungszahl μ_{tot} 1. + 5. Anzug
M10 - 200 U/min

Alle vorliegenden Ergebnisse ohne Filter!



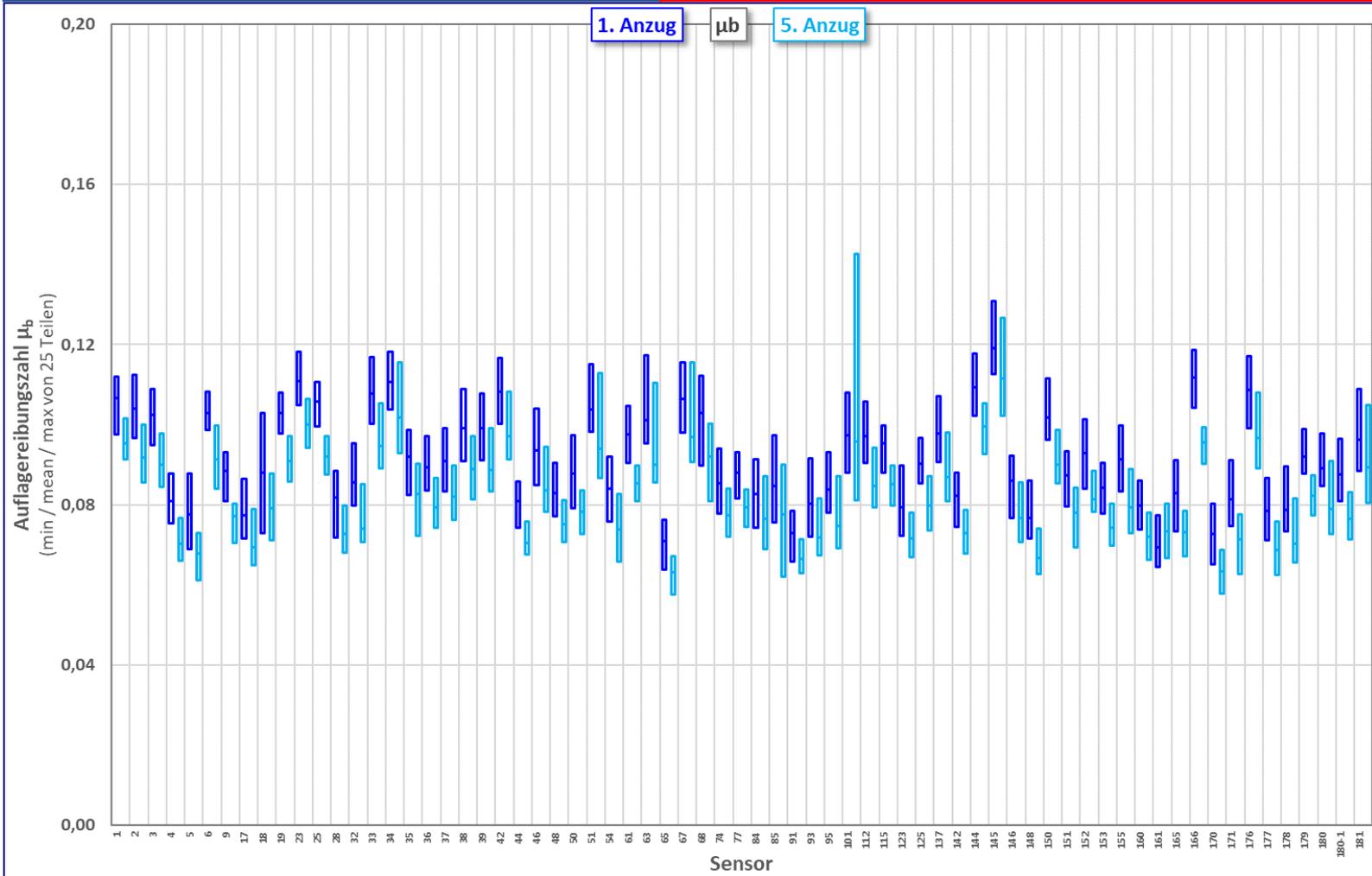
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Auflagereibungszahl μ_b , 1. + 5. Anzug
M10 - 200 U/min

Alle vorliegenden Ergebnisse ohne Filter!



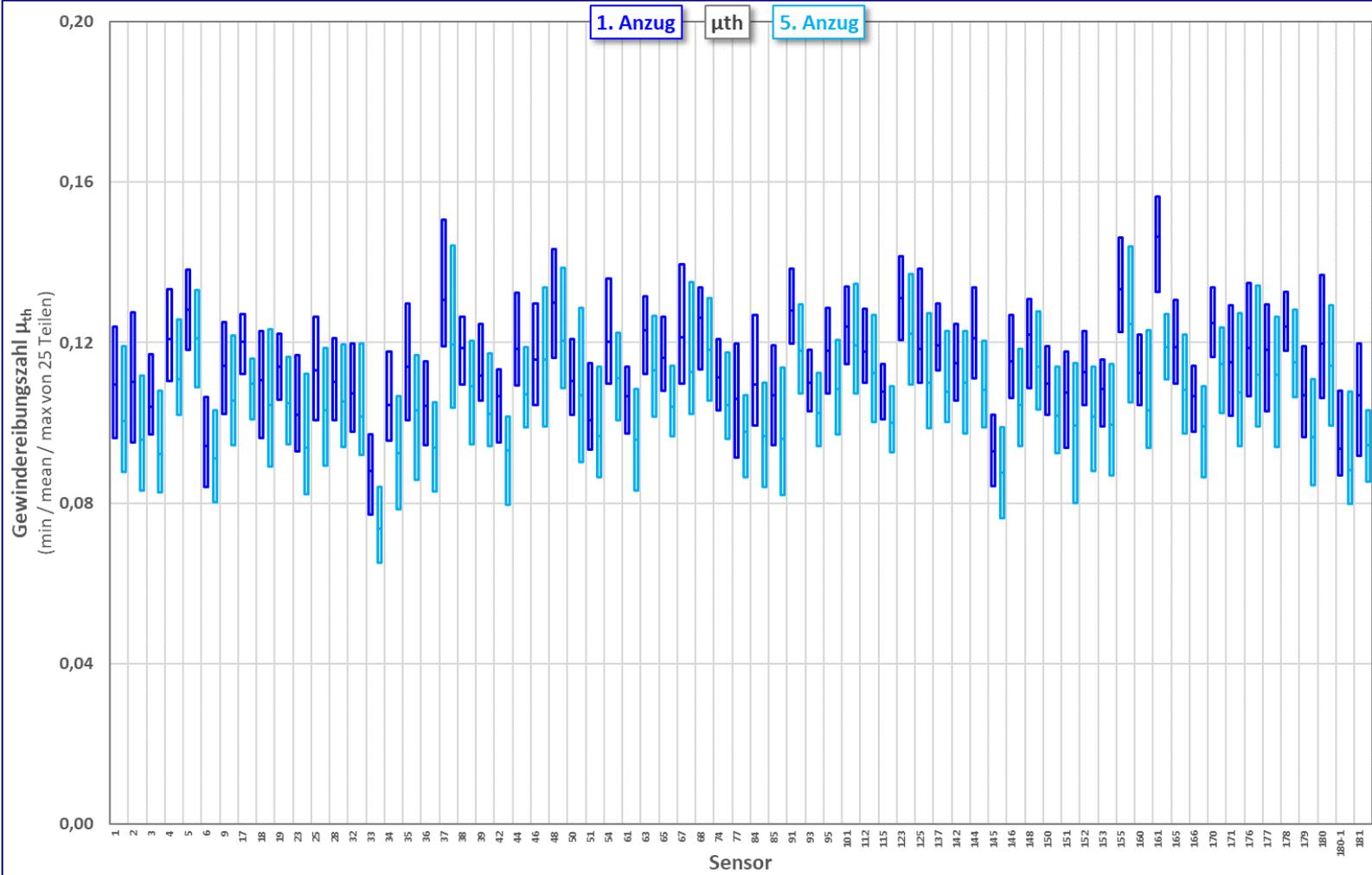
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



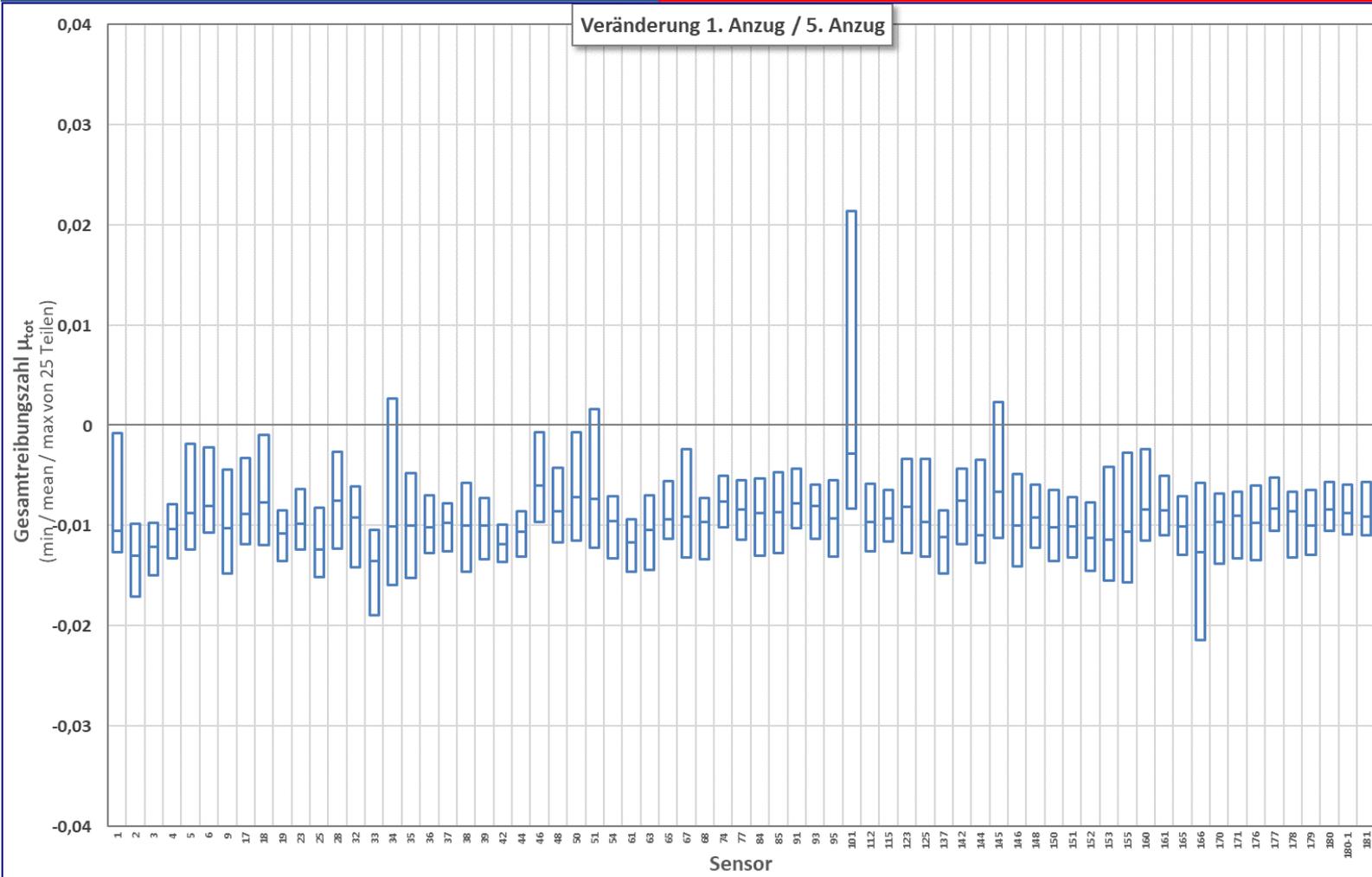
Gewindereibungszahl μ_{th} , 1. + 5. Anzug
M10 - 200 U/min

Alle vorliegenden Ergebnisse ohne Filter!



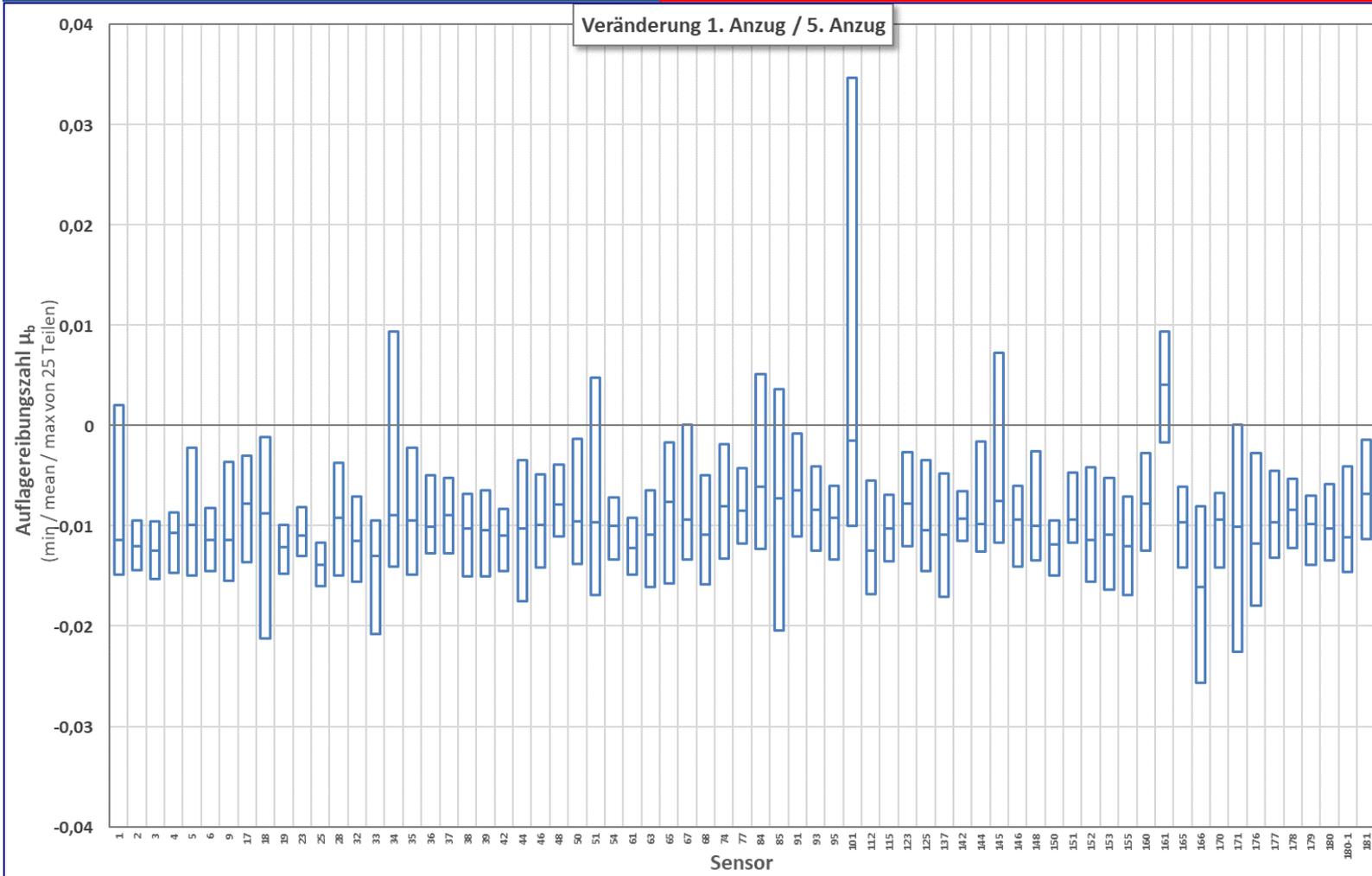
Gesamtreibungszahl μ_{tot} Veränderung
M10 - 200 U/min

Alle vorliegenden Ergebnisse ohne Filter!



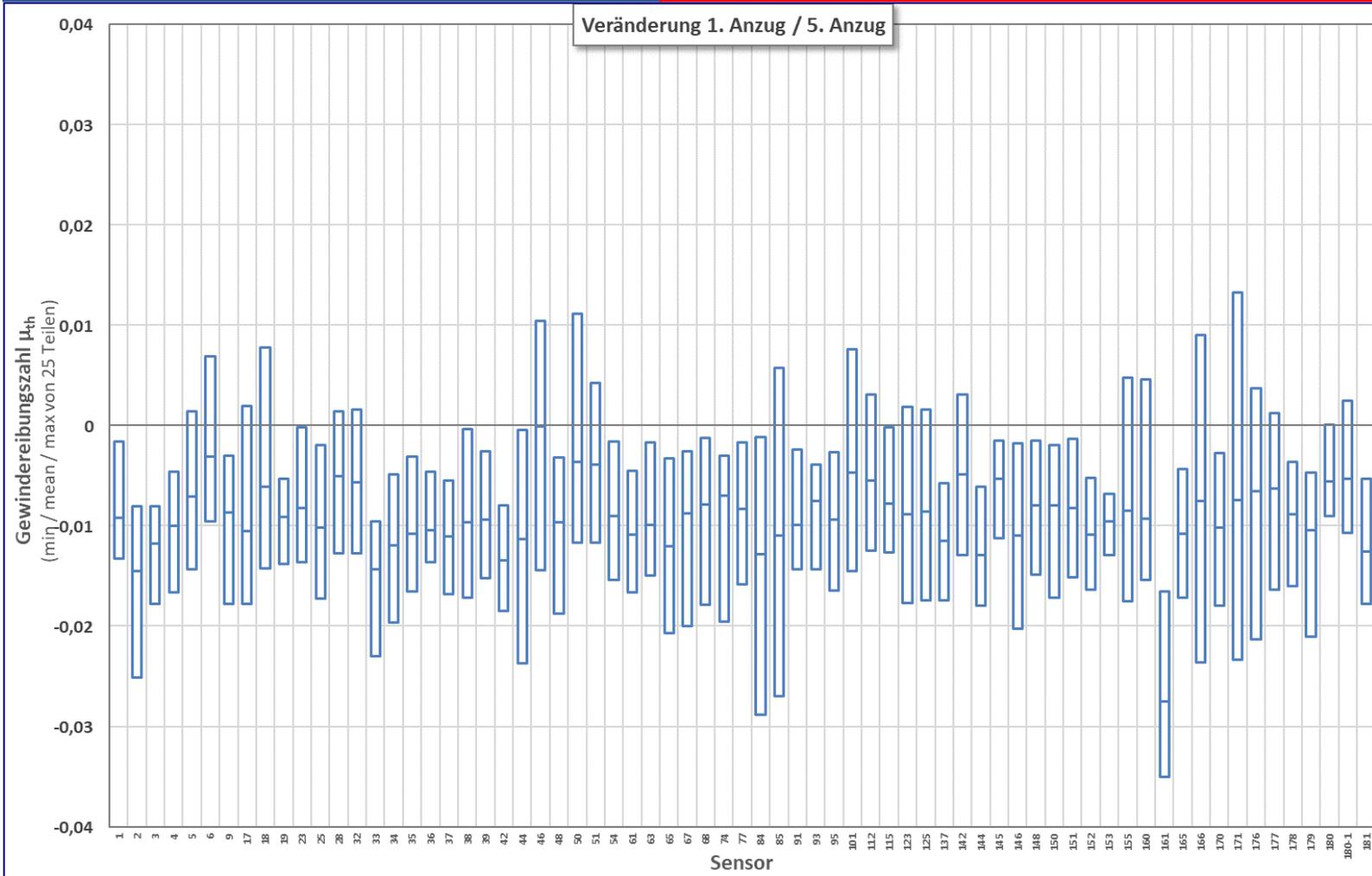
Auflagereibungszahl μ_b , Veränderung
M10 - 200 U/min

Alle vorliegenden Ergebnisse ohne Filter!



Gewindereibungszahl μ_{th} , Veränderung
M10 - 200 U/min

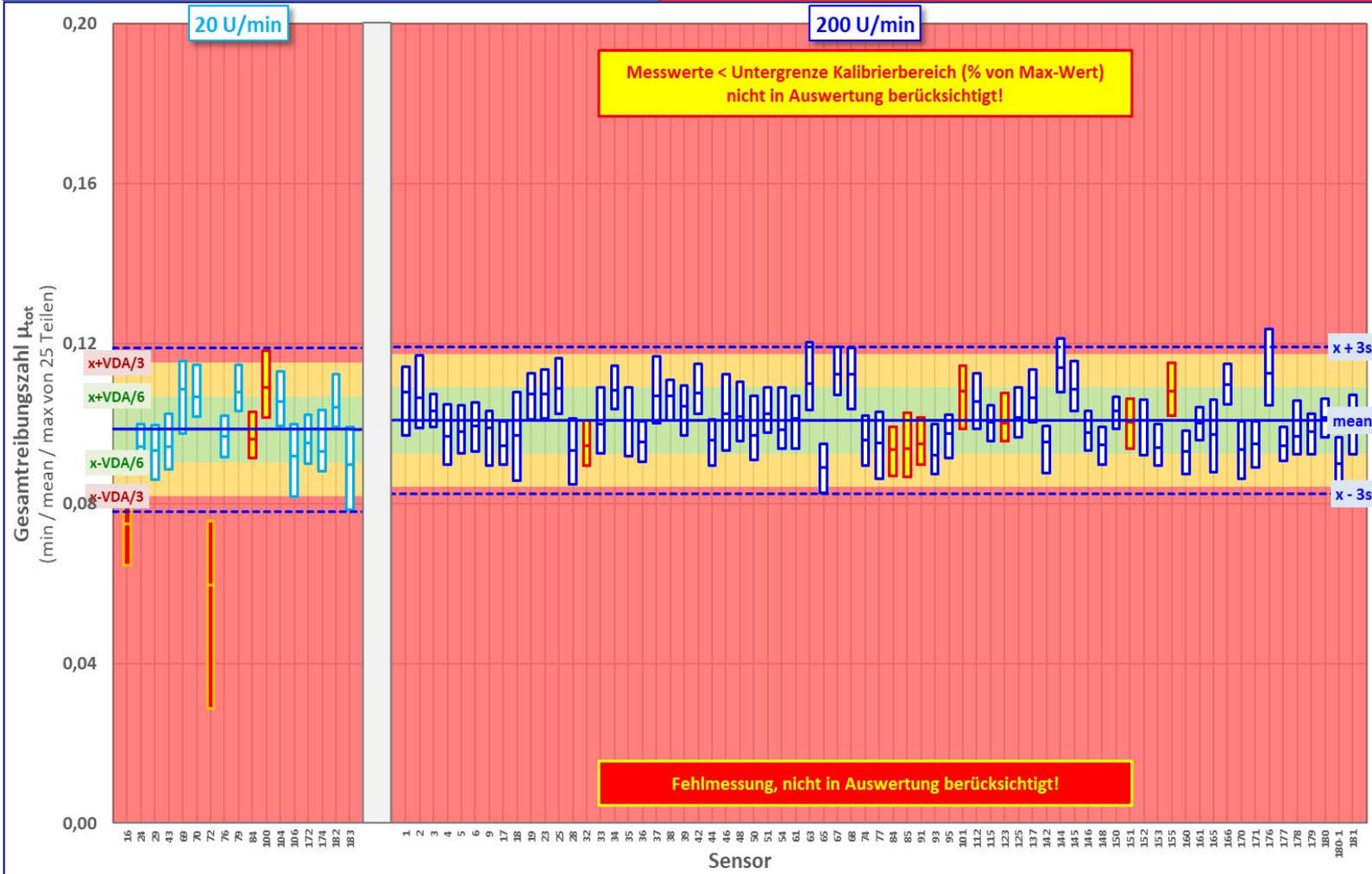
Alle vorliegenden Ergebnisse ohne Filter!



Gesamtreibungszahl μ_{tot}

Vergleich 1-stufiger-Anzug / 2-stufiger Anzug

vorliegende Ergebnisse gefiltert!



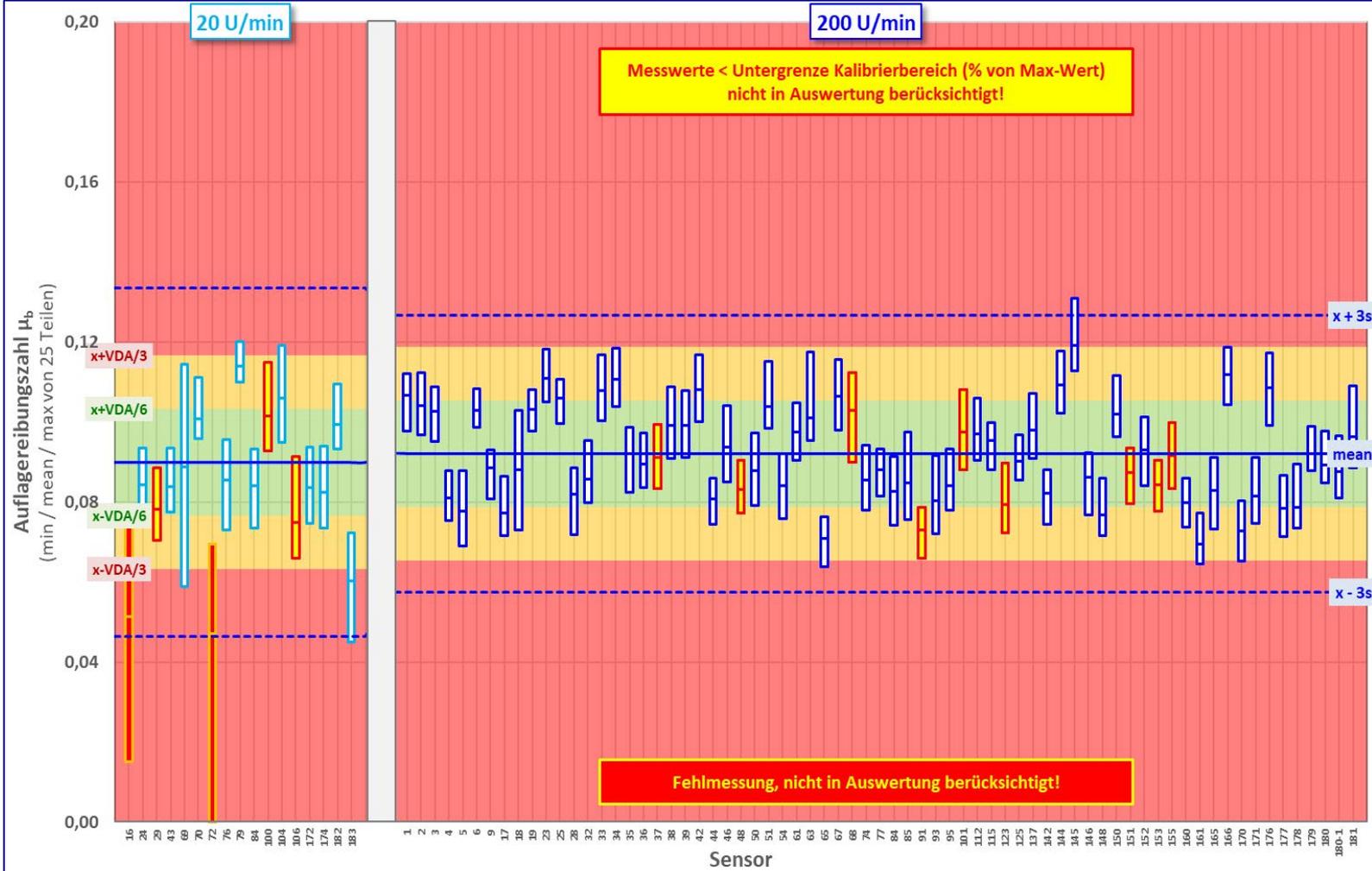
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Auflagereibungszahl μ_b
Vergleich 1-stufiger-Anzug / 2-stufiger Anzug

vorliegende Ergebnisse gefiltert!



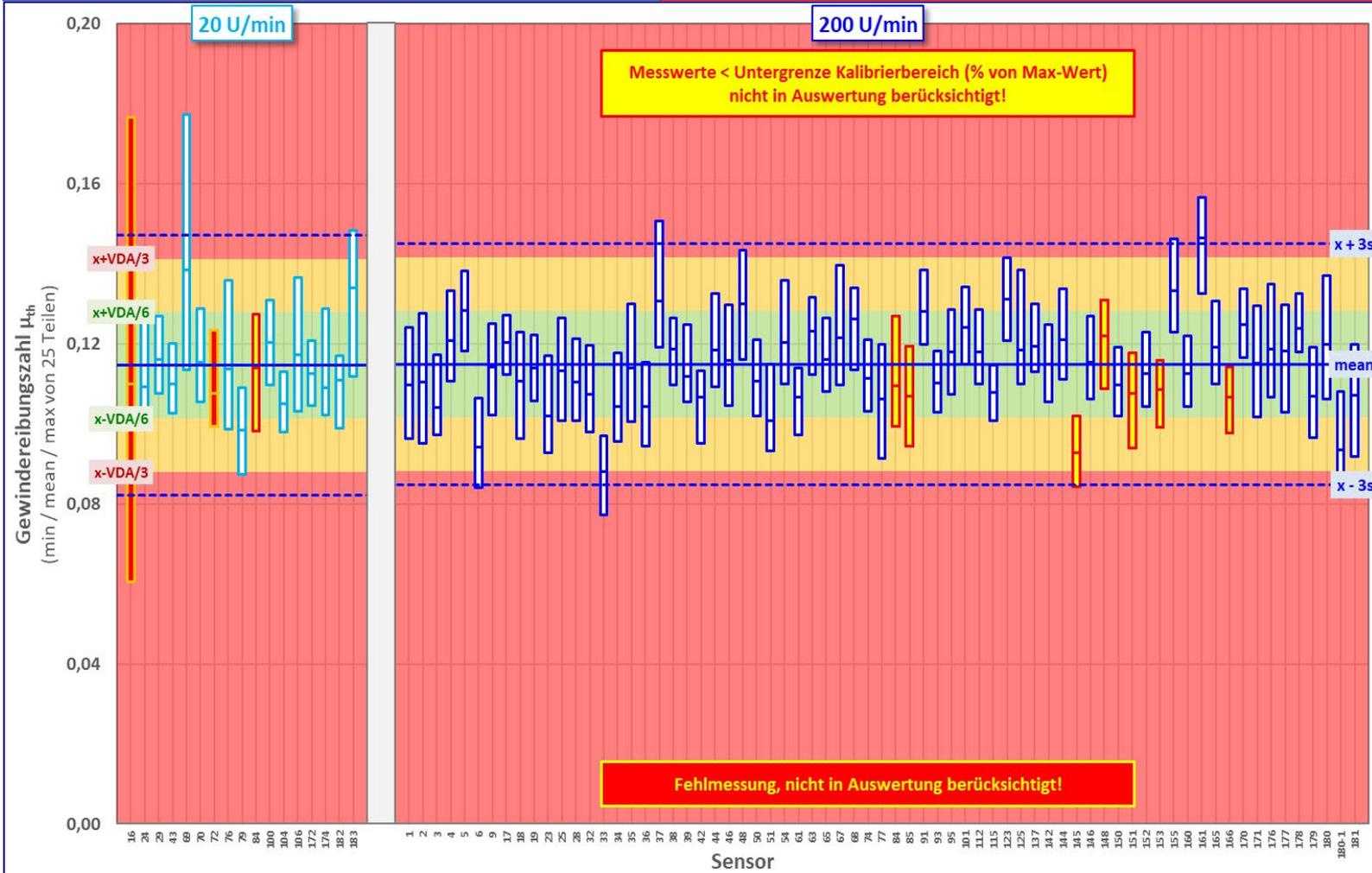
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Gewindereibungszahl μ_{th}
Vergleich 1-stufiger-Anzug / 2-stufiger Anzug

vorliegende Ergebnisse gefiltert!



Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Tatsächlicher Umschalt-
punkt
bei 2stufigem Anzug

69 Sensoren, 11x keine Daten (Umschaltwerte)
2x einheitliche Werte, 9x keine Antriebsart



Tatsächlicher Umschalt-
punkt bei 2stufigem Anzug

69 Sensoren, 11x keine Daten (Umschaltwerte)
2x einheitliche Werte, 9x keine Antriebsart

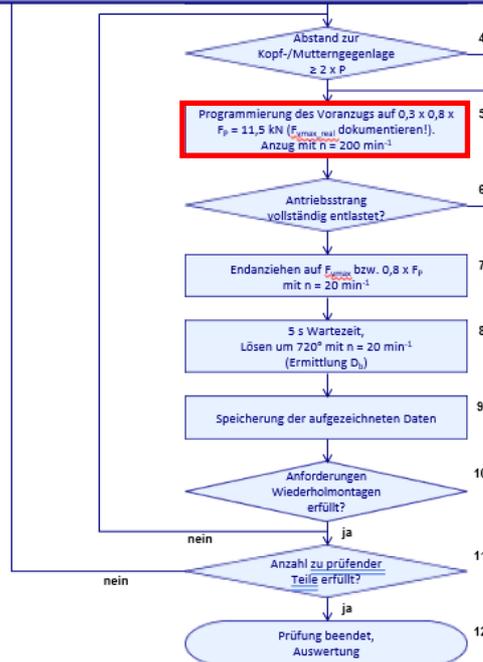
Ringversuch Reibungszahlen 2023

Prüfablauf M10, 200 U/min



DEUTSCHER SCHRAUBENVERBAND E.V.

Programmierung des Voranzugs auf $0,3 \times 0,8 \times F_p = 11,5 \text{ kN}$ (F_{vmax_real} dokumentieren!).
Anzug mit $n = 200 \text{ min}^{-1}$



4. Ein Winkel von min 720° bzw. 2 x P als Abstand vom Prüfteil zur Auflagefläche ist erforderlich, damit die Spindel ausreichend Zeit zum Beschleunigen hat.

5. Das Voranziehen wird auf 30 % der maximalen Kraft von $0,8 \times F_p$ (11,5 kN) programmiert. Der tatsächlich erreichte max. Vorspannkraftwert des schnellen Voranzugs ist zu dokumentieren.

6. Simulation der Haftreibung beim Übergang der Schraubstufen durch eine kurze Pause (1 s). Das Anziehdrehmoment muss während der Pause auf den Wert Null entlastet werden.

7. Das Endanziehen erfolgt mit $n = 20 \text{ min}^{-1}$. Der

8. Die Ermittlung der Reibungszahlen ist an 25 Prüfteilen durchzuführen.

5. Das Voranziehen wird auf 30 % der maximalen Kraft von $0,8 \times F_p$ (11,5 kN) programmiert. Der tatsächlich erreichte max. Vorspannkraftwert des schnellen Voranzugs ist zu dokumentieren.

9. Anziehen ist sicherzustellen, dass der Prüfling abgekühlt ist. Entsprechend ist auch hier eine Wartezeit von 5 s erforderlich.

11. Die Ermittlung der Reibungszahlen ist an 25 Prüfteilen durchzuführen.

12. Auswertung bei 75% der Prüfkraft F_p (36,1 kN).

2023-08

Tatsächlicher Umschaltunkt bei 2stufigem Anzug					69 Sensoren, 11x keine Daten (Umschaltwerte) 2x einheitliche Werte, 9x keine Antriebsart				
Gewinde- moment	Schalt-punkt	Gesamt- reibungszah l	Kopf- reibungszah l	Gewinde- reibungszah l	Vorspann- kraft	Anzieh- drehmomen t	Kopf- moment	Gewinde- moment	Schalt-punkt
T_{th1} in Nm		μ_{tot1}	μ_{b1}	μ_{th1}	F_5 in kN	T_5 in Nm	T_{b5} in Nm	T_{th5} in Nm	
		x	x	x					
x	x				x	x		x	x
31,65	10,95	0,097	0,081	0,122	36,13	51,26	20,44	30,83	10,95
30,55	10,95	0,095	0,081	0,117	36,12	48,34	20,31	28,03	10,95
29,29	10,95	0,088	0,073	0,110	36,11	46,47	19,04	27,43	10,95
30,38	10,95	0,097	0,084	0,116	36,13	50,38	21,74	28,64	10,95

Einheitlicher Schaltpunkt, aber keine Angabe der max.-Vorspannkraftwerte.
Wert von 10,95 kN nicht nachvollziehbar. Evtl. gewählt, um tatsächlich
bei 11,5 kN geschaltet zu haben?

Tatsächlicher Umschaltpunkt bei 2stufigem Anzug		69 Sensoren, 11x keine Daten (Umschaltwerte) 2x einheitliche Werte, 9x keine Antriebsart
Prüfmaschine Typ:	Kistler	
Antrieb:	200U/min	
Datum Kalibrierung:	01.06.2023	

Begriff „Antrieb“ nicht eindeutig? Häufig Nennung der max-Drehzahl oder der Sensorkapazität.



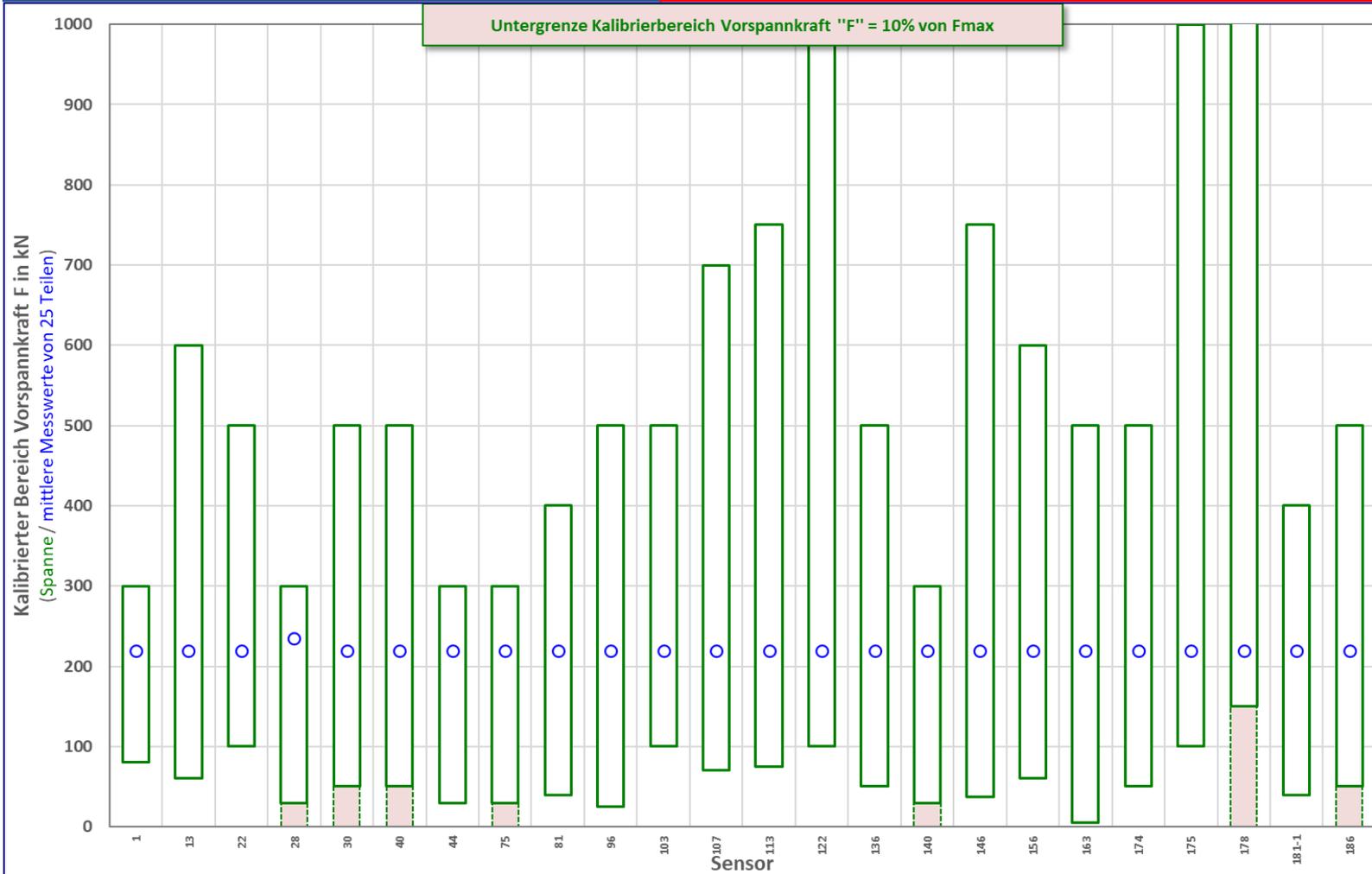
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Kalibrierbereich Kraft F
M24

min-Wert = 0: Anhebung auf 10% des max-Wertes!



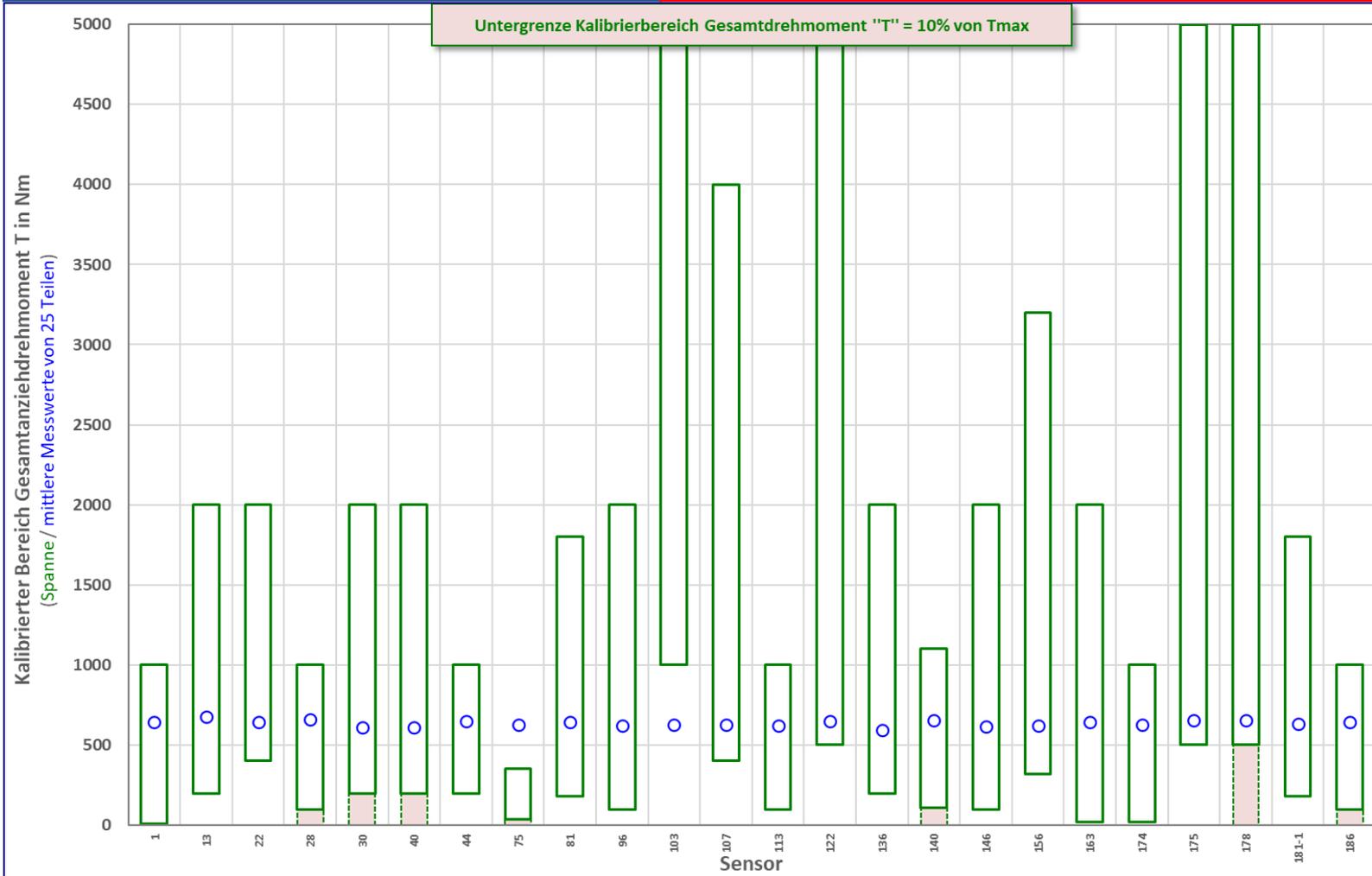
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Kalibrierbereich Drehmoment T
M24

min-Wert = 0: Anhebung auf 10% des max-Wertes!



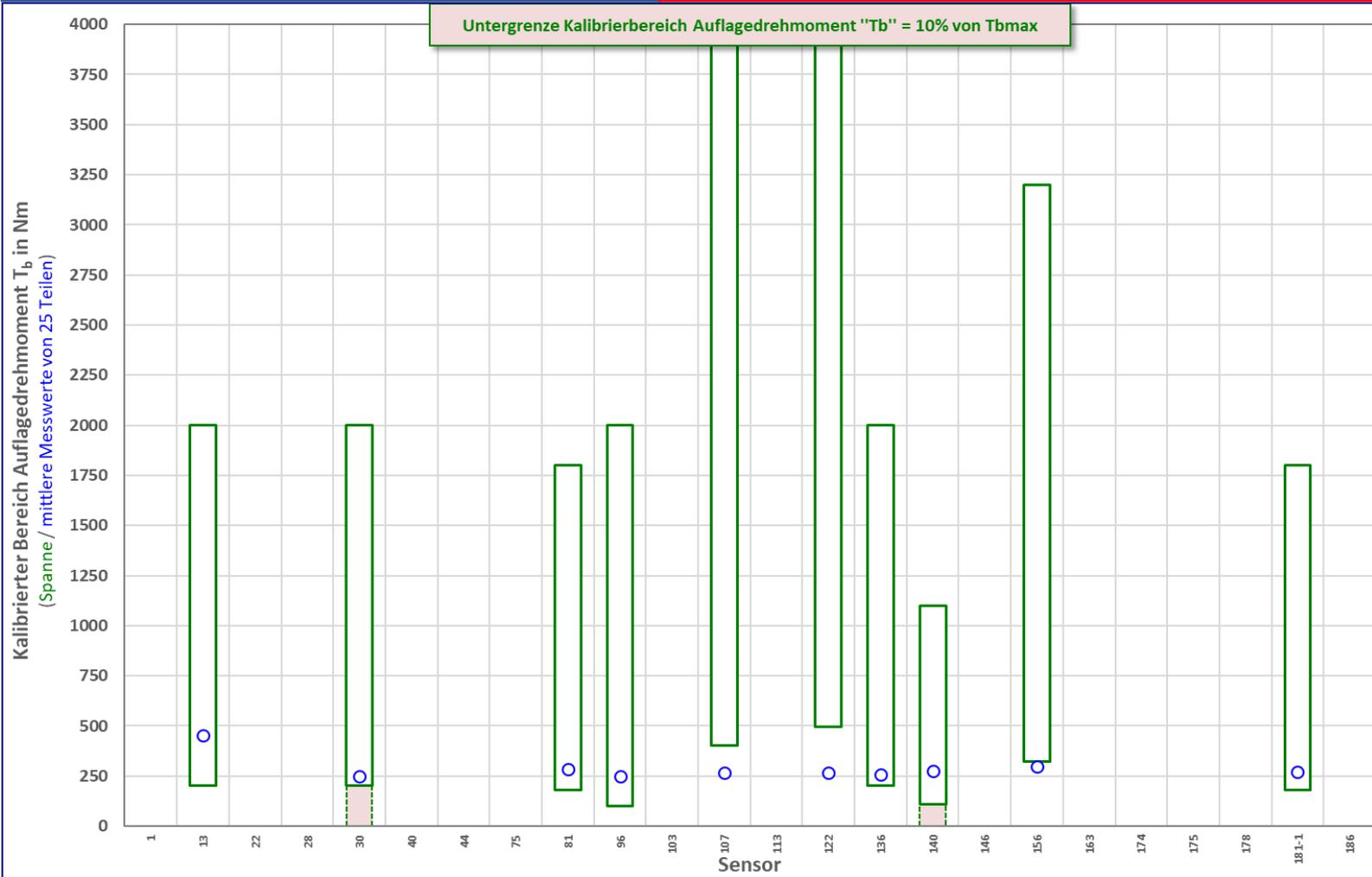
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Kalibrierbereich Teildrehmoment T_b
M24

min-Wert = 0: Anhebung auf 10% des max-Wertes!



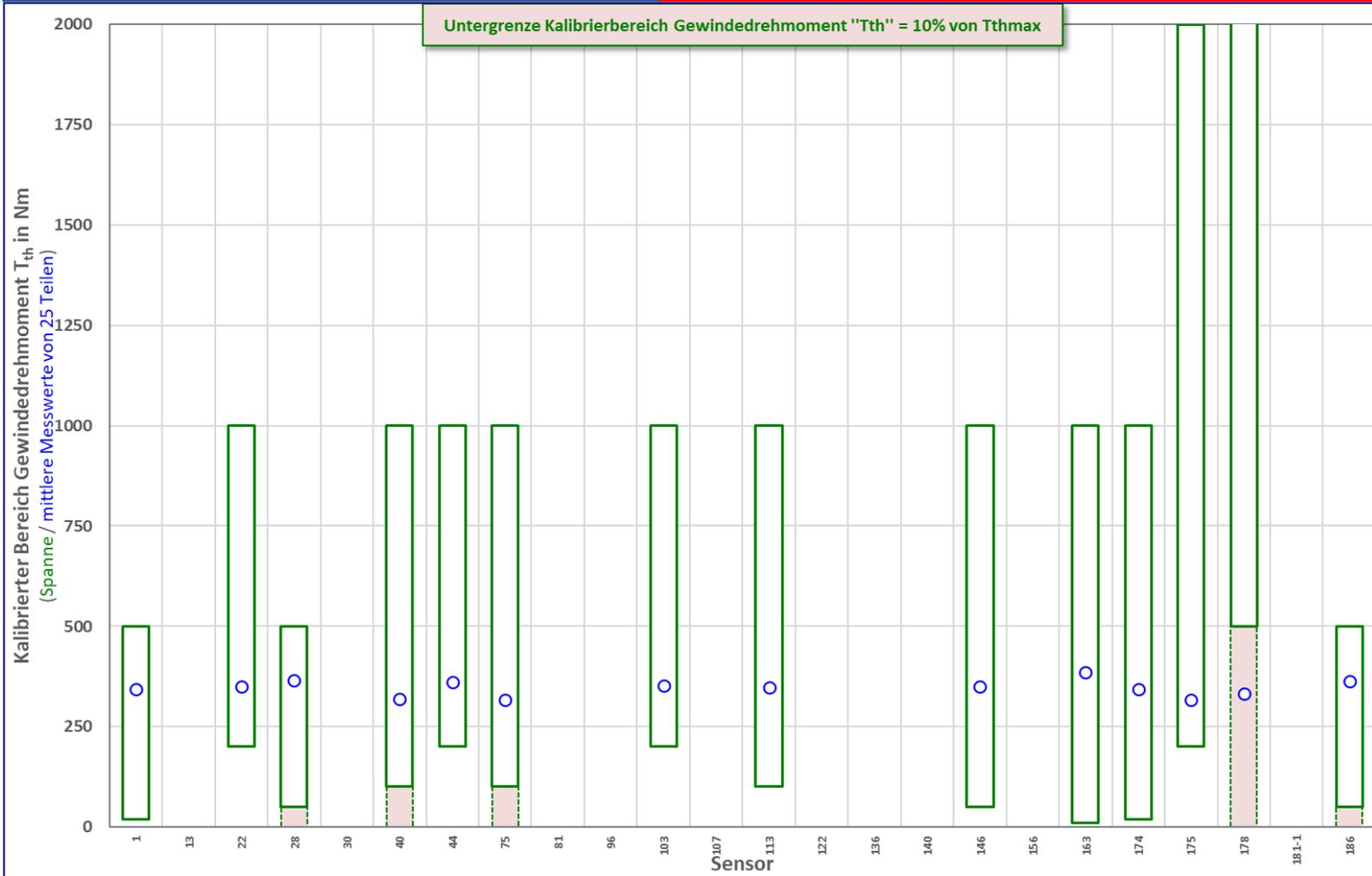
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



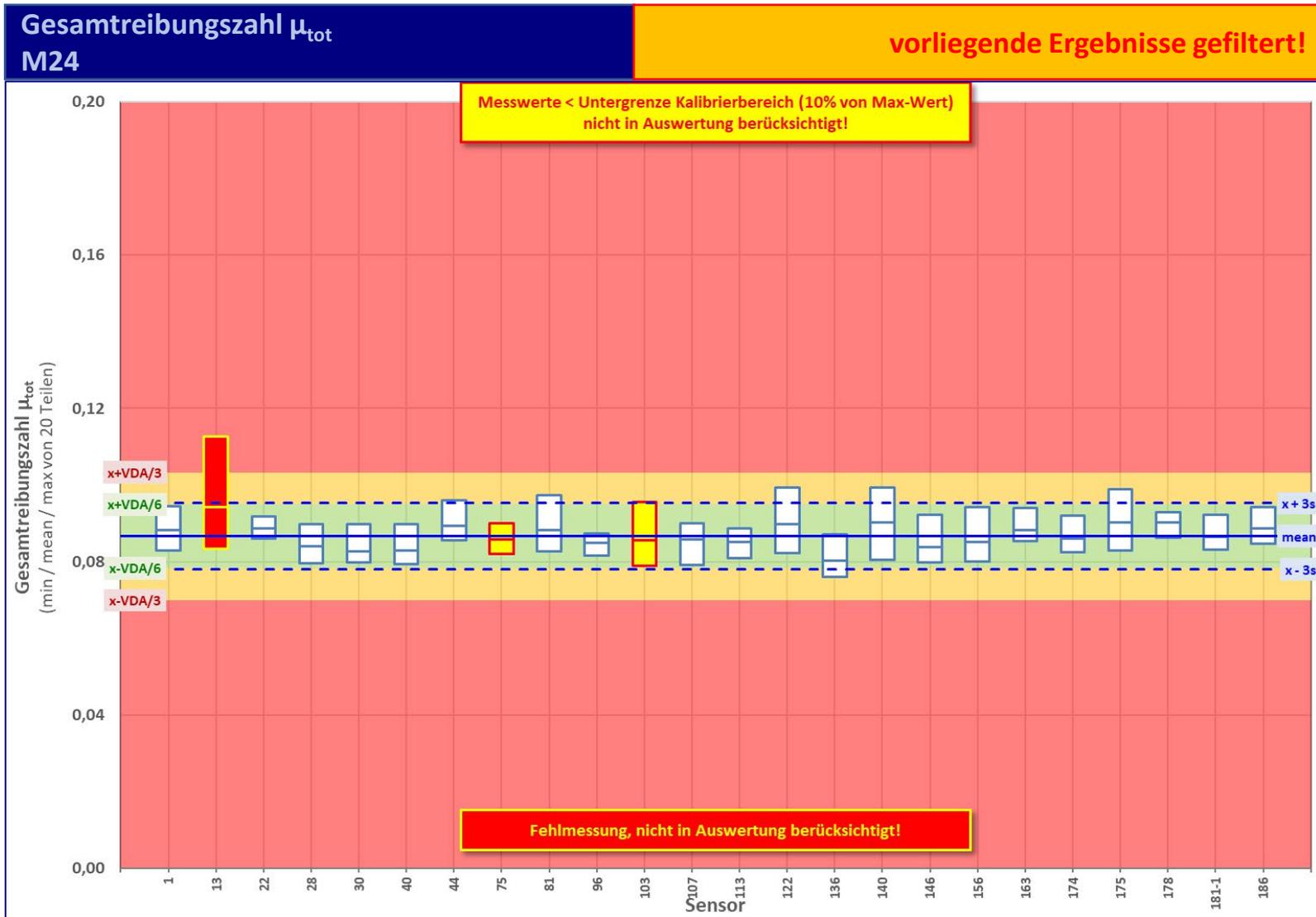
Kalibrierbereich Teildrehmoment T_{th}
M24

min-Wert = 0: Anhebung auf 10% des max-Wertes!



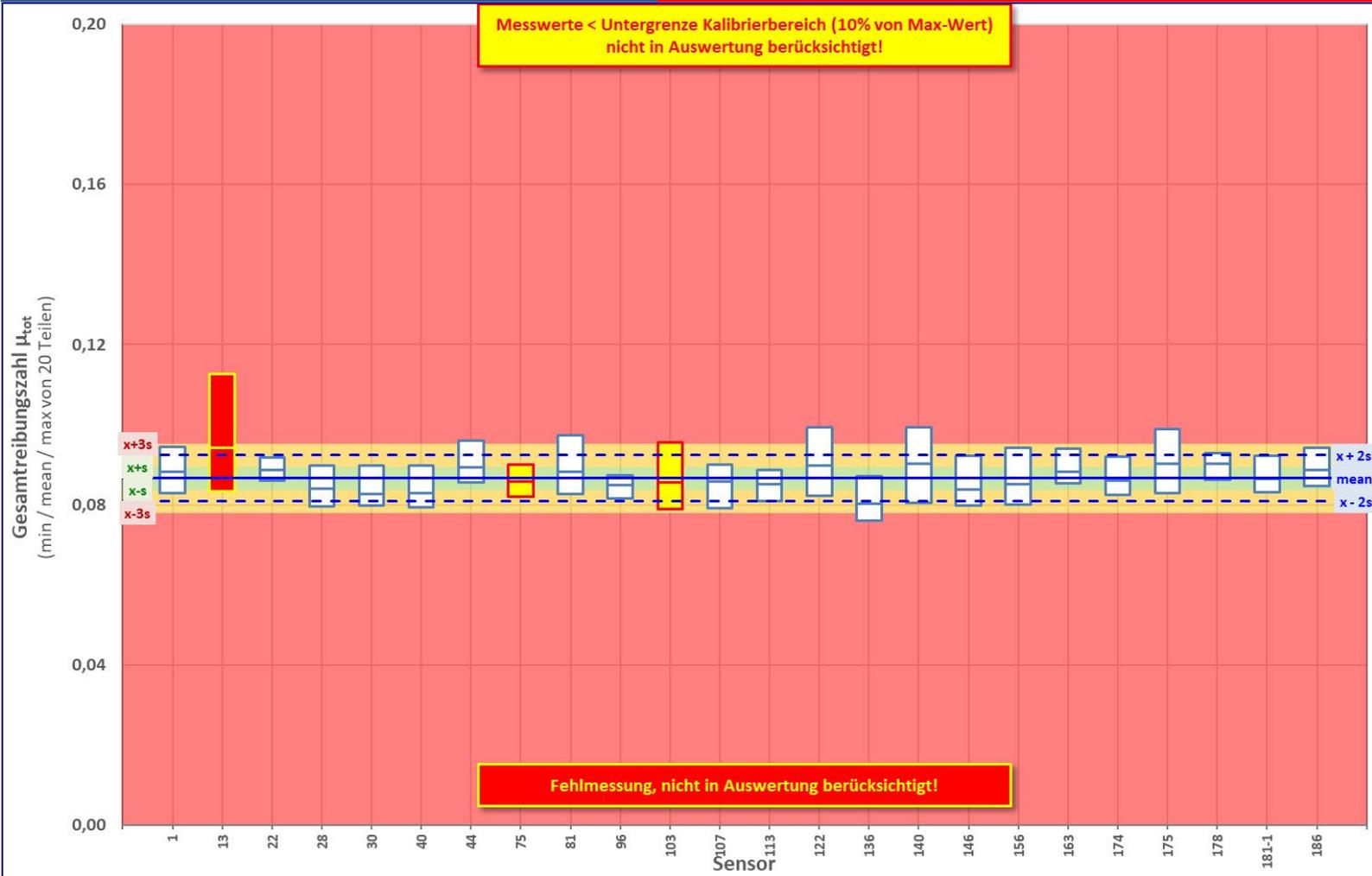
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



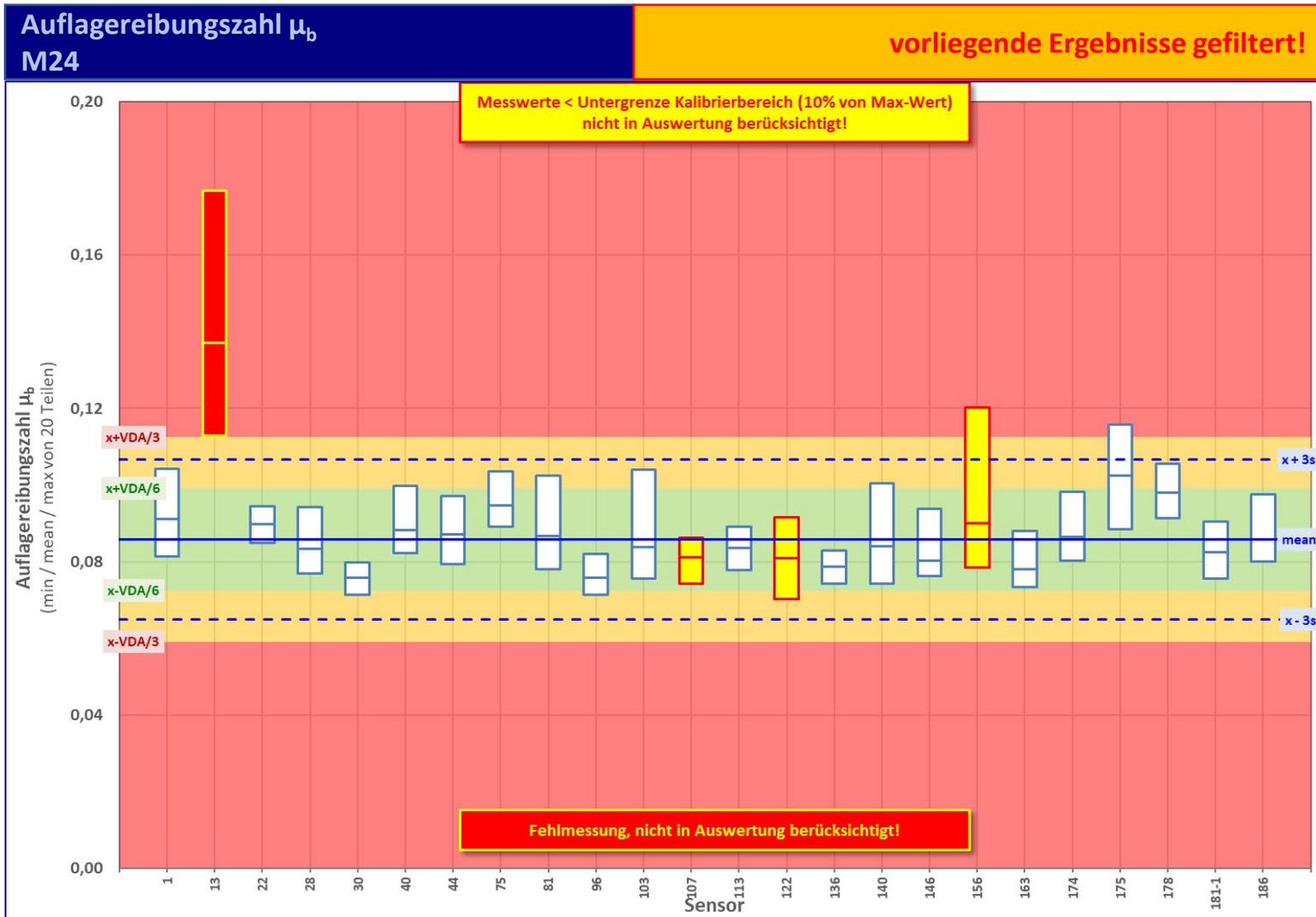
Gesamtreibungszahl μ_{tot} M24

vorliegende Ergebnisse gefiltert!



Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



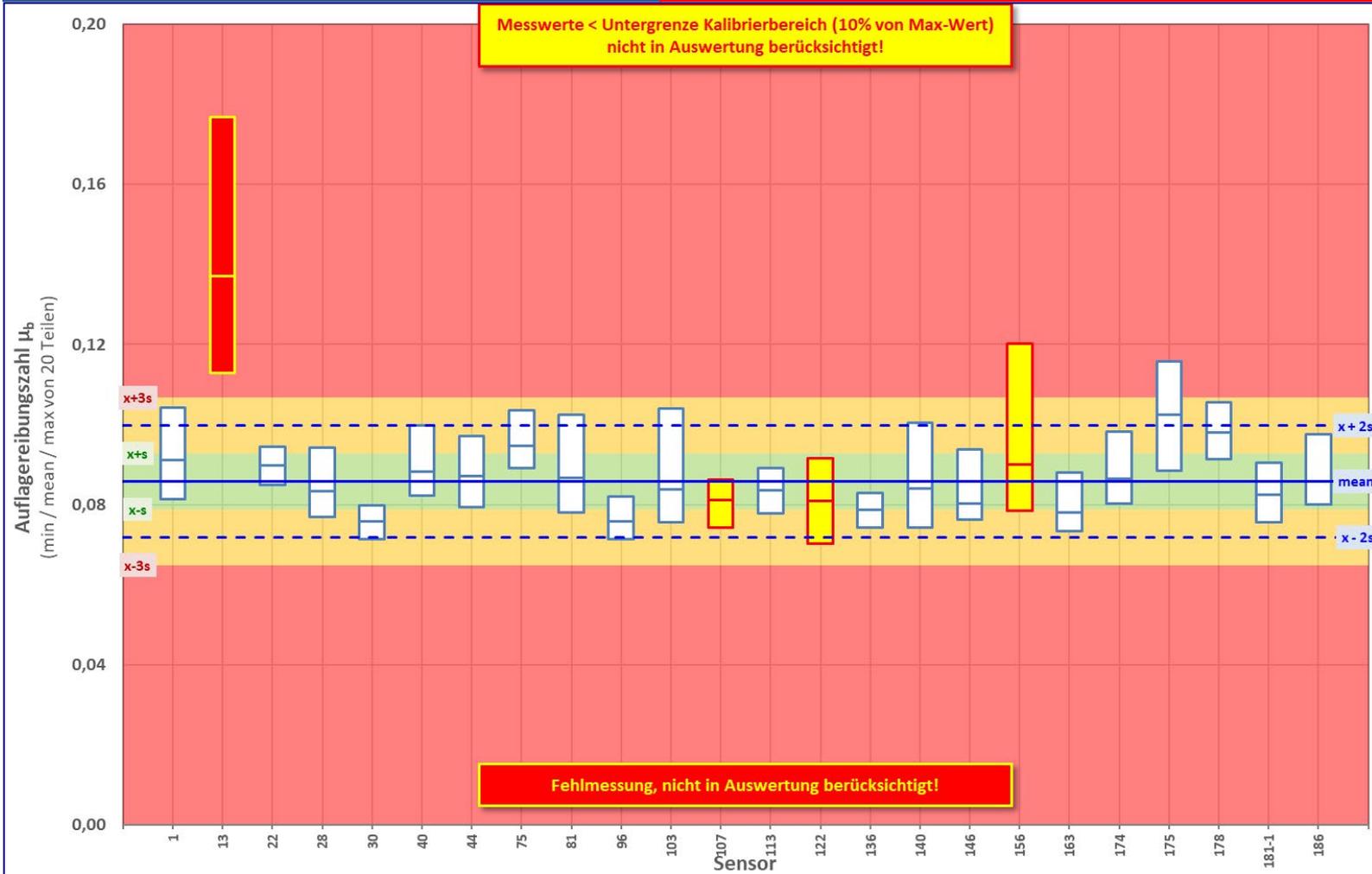
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

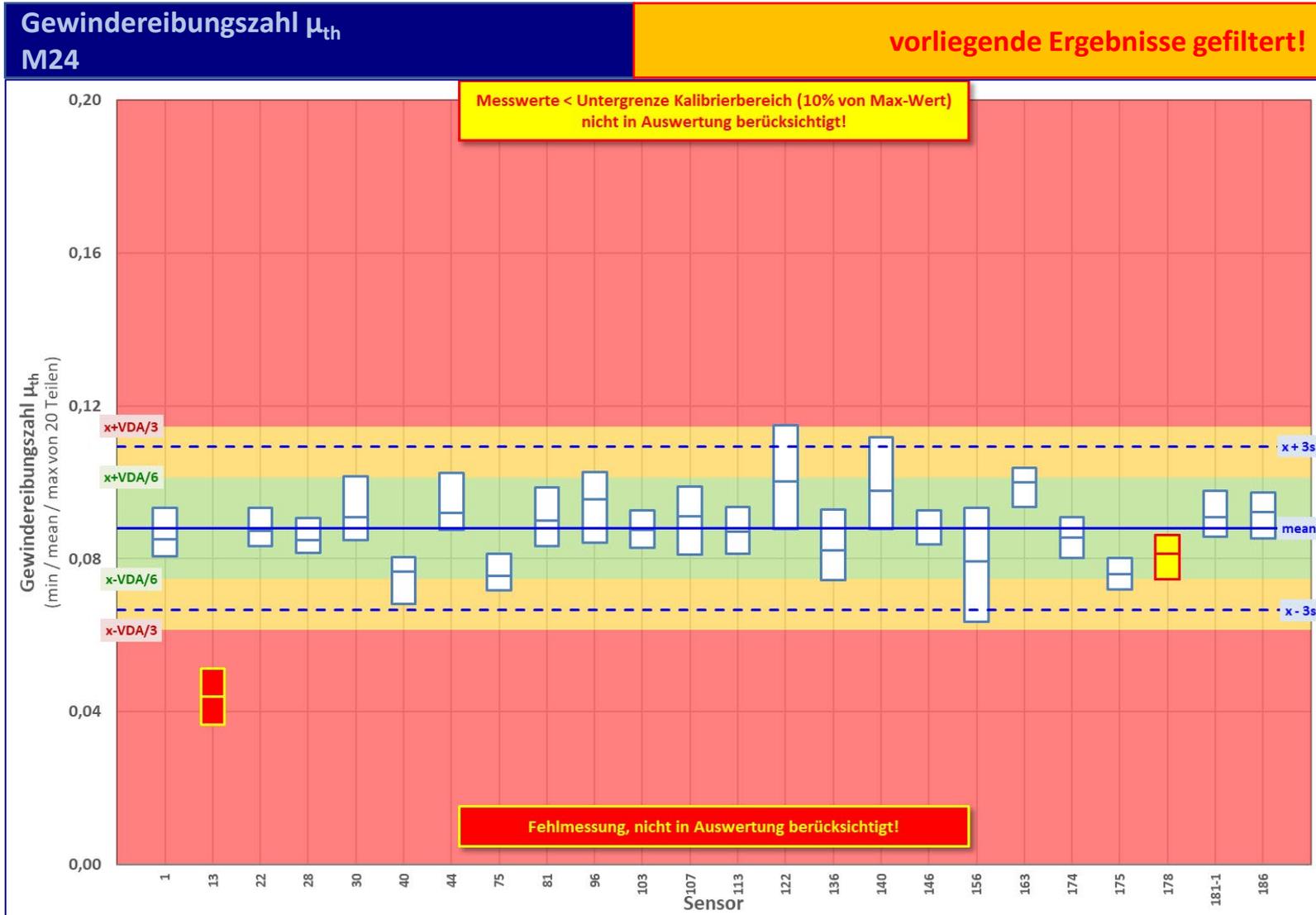
finale Auswertung



Auflagereibungszahl μ_b
M24

vorliegende Ergebnisse gefiltert!





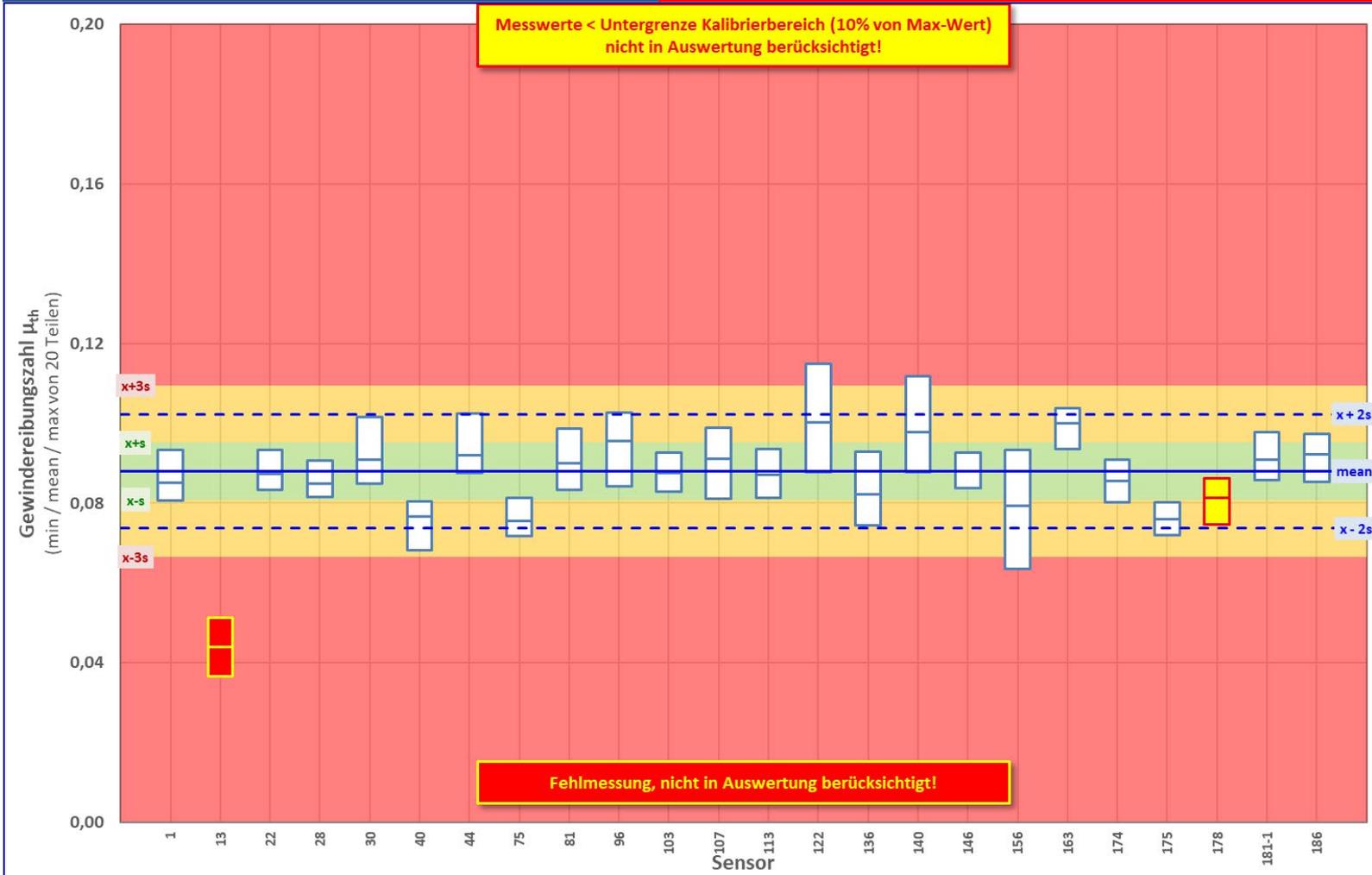
Ringversuch 2023 Reibungszahlen

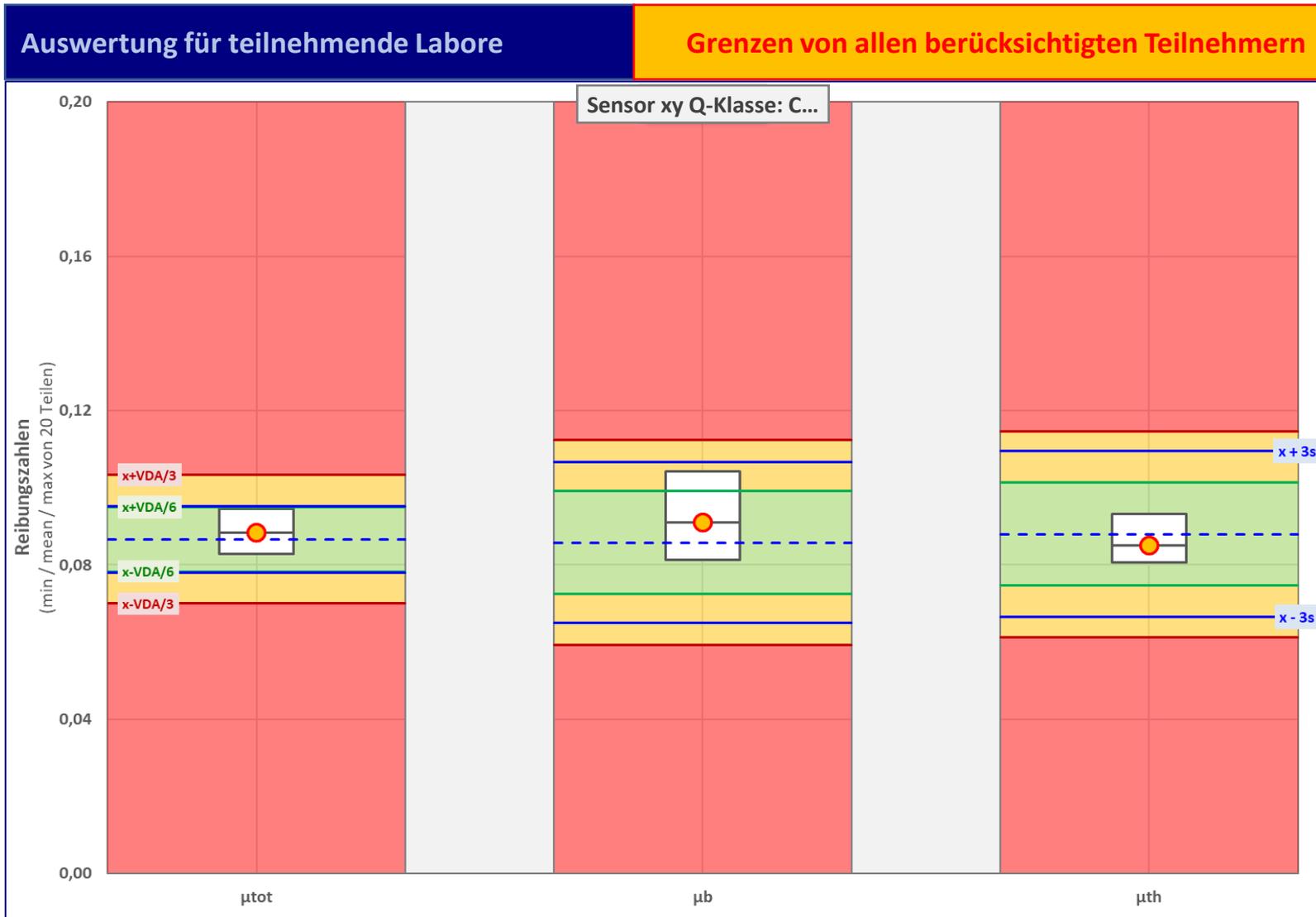
finale Auswertung



Gewindereibungszahl μ_{th}
M24

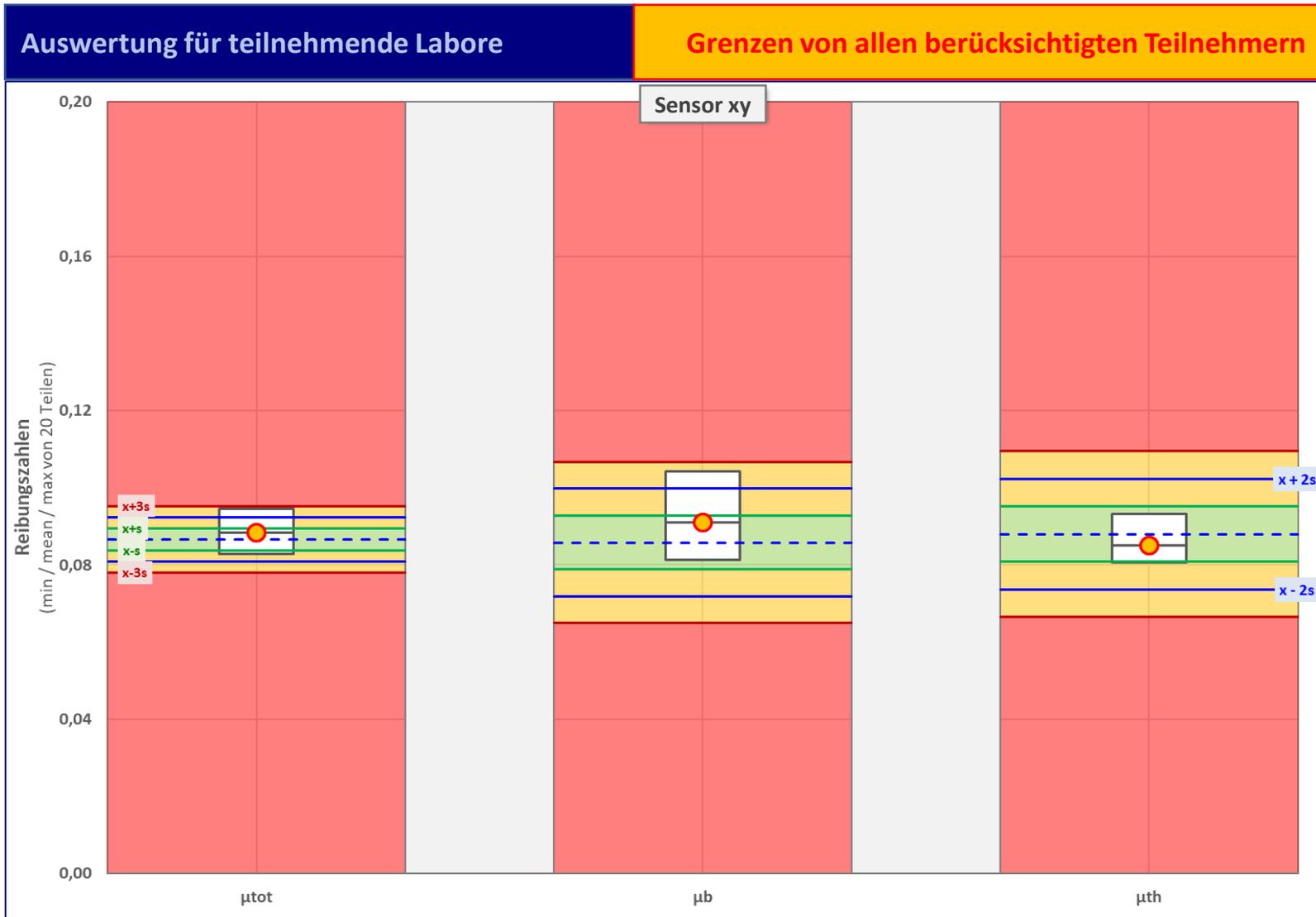
vorliegende Ergebnisse gefiltert!





Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Anteil an Qualitätsklassen

alle Teilnehmer



Ringversuch 2023 Reibungszahlen

finale Auswertung



Anteil an Qualitätsklassen

ohne n.i.O.-Kalibrierbereich, ohne Fehlmessung

