

Dipl.-Ing (FH) Regina Klüß

# Vergleich zweier Labor-Zahnscheibenmühlen für die Bestimmung des Feuchtegehaltes von Getreide mit den Referenzverfahren nach DIN EN ISO 712 und DIN EN ISO 6540

ISSN 2751-6598  
ISBN 978-3-944659-12-1  
DOI 10.7795/110.20260106A



# **Physikalisch-Technische Bundesanstalt**

Metrologie  
PTB-M-10  
Braunschweig, 15. Januar 2026

Dipl.-Ing (FH) Regina Klüß

**Vergleich zweier Labor-Zahnscheibenmühlen  
für die Bestimmung des Feuchtegehaltes  
von Getreide mit den Referenzverfahren nach  
DIN EN ISO 712 und DIN EN ISO 6540**

ISSN 2751-6598  
ISBN 978-3-944659-12-1

DOI 10.7795/110.20260106A

## **Empfohlene Zitierweise/recommended citation**

Klüß, R., 2026. *Vergleich zweier Labor-Zahnscheibenmühlen für die Bestimmung des Feuchtegehaltes von Getreide mit den Referenzverfahren nach DIN EN ISO 712 und DIN EN ISO 6540.* Braunschweig: Physikalisch-Technische Bundesanstalt.  
PTB-Bericht M-10. ISBN: 978-3-944659-12-1.  
Verfügbar unter: <https://doi.org/10.7795/110.20260106A>

### **Herausgeber:**

Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
ISNI: 0000 0001 2186 1887

Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Bundesallee 100  
38116 Braunschweig

Telefon: (05 31) 592-93 21  
Telefax: (05 31) 592-92 92  
[www.ptb.de](http://www.ptb.de)

Regina Klüß, Arbeitsgruppe 3.41 „Gasfeuchte, Atemalkohol und Getreidefeuchte“

**Vergleich zweier Labor-Zahnscheibenmühlen  
für die Bestimmung des Feuchtegehaltes von Getreide  
mit den Referenzverfahren nach  
DIN EN ISO 712 und DIN EN ISO 6540**



## 1 Einleitung

Die Prüfung eichpflichtiger Getreidefeuchtemessgeräte im Rahmen des gesetzlichen Messwesens in Deutschland erfordert die Verwendung von Getreideproben mit bekanntem Feuchtegehalt. Die Bestimmung des Referenz-Feuchtegehaltes erfolgt im Labor nach internationalen normierten Verfahren.

Die Referenzverfahren zur Bestimmung des Feuchtegehaltes nach DIN EN ISO 712 [1] für Getreide und nach DIN EN ISO 6540 [2] für Mais können zusammengefasst beschrieben werden als die Schrotung und Trocknung einer Getreideprobe mit der Bestimmung des durch die Trocknung verursachten Masseverlustes. Dieser Masseverlust wird definiert als Feuchtegehalt der Probe. Vor der Trocknung wird die Probe mit einer Mühle zu Schrot vermahlen. Die genauen Anforderungen und Bedingungen jedes Arbeitsschrittes sind in den genannten Normen festgelegt.

Diese Referenzverfahren zur Bestimmung des Feuchtegehaltes kommen in Deutschland unter anderem im gesetzlichen Messwesen bei der Konformitätsbewertung und Eichung von eichpflichtigen Getreidefeuchtemessgeräten zur Anwendung. Um in diesem Arbeitsgebiet die Durchführung der Referenzverfahren möglichst einheitlich und reproduzierbar zu gestalten, wird die dafür notwendige Laborausstattung zwischen den Eichbehörden und der PTB abgestimmt. Neben dem Trocknungsofen wird die Mühle als besonders wichtig erachtet, da der Mahlprozess großen Einfluss auf das Ergebnis haben kann. Die genauen Typbezeichnungen der abgestimmten Mühle und des Trocknungsofens sind in den internen Regelungen der Eichbehörden (GM-P 9.1 [3]) festgehalten.

Die bisher abgestimmte Mühle wurde in den 1980er-Jahren produziert und ist schon seit geraumer Zeit nicht mehr als Neugerät am Markt verfügbar. Daher besteht die Notwendigkeit, einen adäquaten Ersatz für diese Mühle zu finden, die ein möglichst ähnliches Mahlverhalten aufweist und zu einem vergleichbaren Analyseergebnis führt.

Für diesen Bericht wurden die bisher abgestimmte Mühle mit einer aktuell am Markt erhältlichen Mühle des gleichen Mahlprinzips verglichen und die Eignung beider Mühlen für die Verwendung im Rahmen der Referenzverfahren zur Bestimmung des Feuchtegehaltes nach DIN EN ISO 712 [1] und [DIN EN ISO 6540 [2] geprüft.

Im Fokus steht dabei, exemplarisch ein Vorgehen aufzuzeigen, wie ein potentielles Nachfolgemodell auf seine Eignung für die Verwendung im Rahmen des gesetzlichen Messwesens verifiziert werden kann.

Als eichpflichtig wird in Deutschland zum Zeitpunkt dieser Veröffentlichung der Handel mit folgenden Getreidearten und Ölfrüchten betrachtet:

Weizen, Gerste, Roggen, Triticale, Hafer und Mais sowie Raps und Sonnenblumen.

Die Referenzverfahren zur Feuchtebestimmung von Raps und Sonnenblumen erfordern keine Zerkleinerung. Daher werden sie in dieser Veröffentlichung nicht betrachtet.

## 2 Vorgaben der Normen DIN EN ISO 712 und DIN EN ISO 6540

Die Referenzverfahren zur Feuchtebestimmung nach DIN EN ISO 712 [1] für Getreide und DIN EN ISO 6540 [2] für Mais unterscheiden sich lediglich in bestimmten Details. Die Arbeitsschritte sind jedoch identisch. Entsprechend stimmen auch die Anforderungen an Mühle und Schrot überein, so dass diese zusammengefasst betrachtet werden können. Die Bewertungskriterien der Analyseergebnisse folgen ebenso dem gleichen Ansatz, sind jedoch auf das jeweilige Messgut abgestimmt.

## 2.1 Anforderungen an die Mühle

Laut den genannten Normen soll eine Mühle die folgenden Anforderungen erfüllen:

- aus Material gefertigt, welches keine Feuchtigkeit aufnimmt;
- leicht zu reinigen;
- möglichst geringer Totraum;
- schnelle und gleichmäßige Zerkleinerung;
- ohne merkliche Wärmeentwicklung bei der erforderlichen Probenmenge (max. Differenz der Temperatur vor und nach Zerkleinerung: 5 °C);
- luftdicht / ohne Kontakt zur Umgebungsluft, (um Feuchte austausch zwischen Probe und Außenluft zu vermeiden);
- einstellbar, um eine Teilchengröße-Verteilung zu erhalten, die den Werten in Tabelle 1 entspricht.

**Tabelle 1 - Geforderte Teilchengröße -Verteilung nach [1] und [2]**

Teilchengröße in mm	Anteil in %
≤ 1,7	100
> 1,0	≤ 10
< 0,5	≥ 50

## 2.2 Bewertungskriterien für die Analyseergebnisse der Feuchtebestimmung

Zur Bewertung der Ergebnisse der Feuchtebestimmung nach den Referenzverfahren wird in den Normen [1] und [2] die Einhaltung der in Tabelle 2 aufgeführten Bewertungskriterien gefordert. Die Wiederholbedingungen sind dabei definiert als: „*Bestimmung von identischem Material im selben Labor mit demselben Verfahren und derselben Ausrüstung durch denselben Mitarbeitenden*“.

**Tabelle 2 - Bewertungskriterien für die Analyseergebnisse der Feuchtebestimmung**

Bewertungs-kriterium	Definition	Anforderung in % Feuchte	
		DIN EN ISO 712	DIN EN ISO 6540
Wiederholpräzision $r$	Differenz zwischen <b>2 Einzelergebnissen</b> unter Wiederholbedingungen. <i>(Anzuwenden auf Doppelbestimmung)</i>	$r \leq 0,12$	$r \leq 0,19$
Vergleichpräzision $R$	Differenz zwischen <b>2 Einzelergebnissen</b> in verschiedenen Laboren	$R \leq 0,45$	für Mais nicht angemessen
Kritische Differenz (laborintern) $CD$ bzw. $D_r$	Differenz zwischen <b>2 Mittelwerten in einem Labor</b> aus 2 Bestimmungen unter Wiederholbedingungen	$CD \leq 0,09$ (gerundet: $CD \leq 0,1$ )	$D_r \leq 0,14$
Kritische Differenz (in zwei Laboren) $CD$ bzw. $D_R$	Differenz zwischen <b>2 Mittelwerten in zwei verschiedenen Laboren</b> aus 2 Bestimmungen unter Wiederholbedingungen	$CD \leq 0,51$ (gerundet: $CD \leq 0,5$ )	$D_R \leq 0,68$

### 3 Auswahl der geprüften Mühlen

Prinzipiell ist eine Vielzahl von Mühlen mit den unterschiedlichsten Mahlprinzipien in der Lage, die in Abschnitt 2.1 und 2.2 aufgeführten Kriterien einzuhalten. Grundsätzlich ist bei der Auswahl zu beachten, dass der Zerkleinerungsprozess entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis der Feuchtebestimmung nach den betrachteten Referenzverfahren hat.

Zum einen muss eine ausreichende Zerkleinerung stattfinden, um eine genügend große Oberfläche für den Trocknungsprozess zu schaffen, zum anderen soll beim Mahlprozess keine Feuchte durch Austausch mit der Umgebung oder durch Erwärmung aus dem Probenmaterial verloren gehen. Diese beiden gegenläufigen Ziele werden im unterschiedlichen Maße durch die am Markt verfügbaren Mühlen mit den unterschiedlichsten Mahlprinzipien abgedeckt.

Als abgestimmte Mühle wurde bisher die Zahnscheiben-Mühlen des Typs Babendererde WB31 (Kurzbezeichnung: WB31, Abbildung 1) von Eichbehörden und PTB eingesetzt. Diese Mühle hat sich über Jahrzehnte in der Praxis bewährt, wie auch die regelmäßigen, durch die GM-P 9.1 [3] vorgeschriebenen Ringvergleiche zwischen PTB und Eichbehörden immer wieder bestätigen.

Als mögliches, aktuell am Markt erhältliches Nachfolgemodell wurde exemplarisch die Perten Laboratory Mill 3310 (Kurzform: LM3310, Abbildung 2) ausgewählt, da sie das gleiche Mahlprinzip (Zahnscheibenmühle) verwendet und in der Ausführung stark der Mühle WB31 ähnelt. Dies zeigt sich bereits in der äußeren Gestaltung (Abbildungen 1 und 2) sowie im Vergleich der Mahlkammern (Abbildungen 3 und 4 und Tabelle 4).



Abbildung 1: Mühle Babendererde WB31



Abbildung 2: Mühle Perten LM3310

### 3.1 Prüfmuster

Für diesen Bericht standen jeweils zwei Mühlen des gleichen Typs zur Verfügung. Die Zuordnung der Mühlen zu den Bezeichnungen in diesem Bericht zeigt Tabelle 3.

**Tabelle 3 – Verwendete Prüfmuster**

Mühle	Seriennummer	Bezeichnung in diesem Bericht	Eigentümer
WB31	14	WB31_A	PTB
WB31	12	WB31_B	PTB
LM3310	221629	LM3310_A	PTB
LM3310	241658	LM3310_B	CAB Laborservice

Die Mühlen WB31 wurden turnusmäßig gewartet und die Mahlscheiben justiert, die beiden Mühlen LM3310 befanden sich noch im Zustand der originalen Werksjustierung.

### 3.2 Vergleich der Ausführung der Mahlkammern

Zunächst wurden die Mahlkammern beider ausgewählten Prüfmustertypen in ihrer Bauweise verglichen. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen die geöffneten Mahlkammern dieser Mühlen. In Tabelle 4 sind die Details dieses Vergleichs gegenübergestellt.



Abbildung 3: Mahlwerk der Mühle WB31



Abbildung 4: Mahlwerk der Mühle LM3310

**Tabelle 4 – Vergleich der Ausführung der Mahlkammern**

	Mühle WB31	Mühle LM3310	Bewertung
<b>Mahlprinzip</b>	Zahnscheibenmühle	Zahnscheibenmühle	identisch
<b>Probenzuführung</b>	Metall- Einlassstutzen	Metall- Einlassstutzen mit abnehmbaren Kunststofftrichter	unterschiedlich
<b>Regulierung Probenzuführung</b>	Über Metallscheibe regulier- und verschließbar	Über Metallscheibe regulier- und verschließbar	identisch
<b>Durchmesser Zahnscheibe</b>	75 mm	75 mm	identisch
<b>Zahnung Zahnscheibe</b>	„mittel“	„mittel“	
<b>Seitl. Spalt zwischen Scheibe und Gehäuse</b>	3,0 mm	3,5 mm	unterschiedlich
<b>Einstellung des Schrotungsgrades</b>	Drehknopf ohne Markierung	Drehknopf mit 7 Raster-Positionen	unterschiedlich
<b>Verschluss Mahlwerk</b>	Feststellschraube	Drehriegel mit Kompression	unterschiedlich
<b>Auffangbecher</b>	Metallzylinder mit Boden Innendurchmesser: 31 mm	Konischer Plastikbecher Innendurchmesser oben: 66 mm	unterschiedlich
<b>Ausführung des Auslassstutzens</b>	Kurzes Metallrohr mit Fixierpunkt für Becher Länge: 28,5 mm Öffnung Ø: 23,5 mm	PTFE-Stutzen mit Metallstäben als Griffschutz vor Öffnung Länge: 57,0 mm Öffnung Ø: 27,5 mm	unterschiedlich

Beide Mühlen sind sehr ähnlich ausgeführt, insbesondere die Übereinstimmung von Mahlprinzip und Mahlscheiben lassen ein vergleichbares Mahlergebnis erwarten. Die möglichen Auswirkungen der festgestellten Unterschiede in der Mahlkammerausführung wurden ausführlich untersucht und sind in den nachfolgenden Abschnitten dargestellt. Die leicht geänderte Probenzuführung (kürzerer Metallstutzen, ausgeglichen durch einen zusätzlichen Kunststofftrichter bei der Mühle LM3310) zeigte keine Auswirkung in der Praxis und wurde nicht weiter betrachtet.

Alle Prüfmuster wurden in der jeweils feinsten Einstellung des Mahlgrades geprüft, die Justierung des Mahlgrades wurde nicht verändert, sondern so verwendet wie geliefert oder wie im Zuge der letzten externen Wartung eingestellt.

### **3.3 Vergleich Handhabung der Mühlen**

Für die Arbeitsroutine sind bestimmte, sich wiederholende Handlungsabläufe wichtig, deren Ausführung an beiden Prüfmustern miteinander verglichen hier werden.

#### **3.3.1 Einstellung des Schrotungsgrades ( $\triangleq$ Feinheit des Mehls)**

Durch die definierten Rasterpositionen der Mühle LM3310 ist die Einstellung einfacher und reproduzierbarer gegenüber der Mühle WB31 (Abbildungen 5 und 6).

#### **3.3.2 Öffnen des Mahlwerks und Reinigung der Mahlkammer**

Der Drehriegel der Mühle LM3310 vereinfacht das Öffnen gegenüber der Mühle WB31 mit Feststellschraube (Abbildung 1 und 2).

Der längere Auslassstutzen sowie die Metallstäbe im Auslass der Mühle LM3310, die als Schutz vor gefährlichen beweglichen Teilen fungieren, erschweren die vollständige Reinigung im Vergleich zur Mühle WB31 (Abbildungen 5 und 6).

Auf den Metallstäbchen der Mühle LM3310 setzt sich zusätzlich Schrot ab, besonders bei feuchteren Proben (Abbildung 7).

#### **3.3.3 Handhabung des Probenschrotes im Auffangbecher**

Durch den breiteren Kunststoffbecher der Mühle LM3310 ist ein Durchmischen des Probenschrotes mit einem Spatel im Vergleich zum schmalen Metallbecher der Mühle WB31 einfacher (Abbildung 9).

Mit dem schmalen Metallbecher der Mühle WB31 kann der Becherinhalt direkt und vollständig in ein Wägeglas durch Schütten überführt werden, was mit dem breiteren Kunststoffbecher der Mühle LM3310 nicht mehr ohne Hilfsmittel möglich ist (Abbildungen 8 und 10). Für diesen Arbeitsschritt (siehe auch [3]) empfiehlt sich die Verwendung von kleinen Metalltrichtern mit breiterem Ein- und Auslass (Abbildung 11).



**Abbildung 5:** Mühle WB31 Einstellknopf und Auslassstutzen



**Abbildung 6:** Mühle LM3310 Einstellknopf und Auslassstutzen



**Abbildung 7:** LM3310 - Blick von unten auf Schutzstäbe des Auslasses



**Abbildung 8:** Verhältnis Becher der Mühle WB31 zu Wägeglas ( $d = 5,5$  cm)



**Abbildung 9:** Vergleich Auffangbecher der Mühle LM3310 und der Mühle WB31



**Abbildung 10:** Verhältnis Becher der Mühle LM3310 zu Wägeglas ( $d=5,5$  cm)



**Abbildung 11:** Beispiel zur Verwendung eines Trichters mit Becher Mühle LM3310

## 4 Mahlverlust und Verschleppung von Probenmaterial

Bei jedem Mahlvorgang bleibt ein Teil des Schrottes in den Toträumen des Mahlwerks und an den Wänden des Auslassstutzen haften. Es ist daher immer mit einem bestimmten Mahlverlust zu rechnen. Zusätzlich besteht die Gefahr der Verschleppung von Probenmaterial.

Die in der GM-P9.1 [3] beschriebene Vorgehensweise zur Schrotung von Getreideproben sieht vor, von jeder Probe zuerst eine Portion der zu analysierenden Probe zu vermahlen (Blindprobe), um die Mühle zu konditionieren. Die Blindprobe wird verworfen. Danach wird die jeweils benötigte Menge an Probe für ein Wägeglas vermahlen.

### 4.1 Verschleppung

Zur Beurteilung der Einflüsse durch Verschleppung wurden die Bestimmungsergebnisse mehrere Jahre ausgewertet, bei denen unterschiedlich feuchte Proben jeglicher eichpflichtiger Fruchtarten direkt hintereinander ohne zwischenzeitliche Reinigung der Mühlen analysiert wurden. Betrachtet wurde dabei die Differenz der Einzelwerte einer Doppelbestimmung in Abhängigkeit zur Differenz im Feuchtegehalt zur Vorläuferprobe. Für die Bewertung wurde für alle Proben die in DIN EN ISO 712 [1] geforderte Wiederholpräzision  $r$  verwendet, die in den Abbildungen als rote Linien dargestellt ist.

Zur Auswertung wurden für den Mühlentyp Mühle WB31 mehr als 300 Wertepaare aus beiden Prüfmustern WB31 betrachtet, für den Mühlentyp LM3310 konnten 200 Wertepaare aus beiden Prüfmustern LM3310 herangezogen werden. Bei beiden Mühlen streut die Differenz der Einzelwerte einer Doppelbestimmung innerhalb der Grenzen der Wiederholpräzision gleichmäßig um 0,00 % Feuchte. Ein systematischer Einfluss der Vorläuferprobe lässt sich, wie auch in den Abbildungen 12 und 13 dargestellt, nicht erkennen.

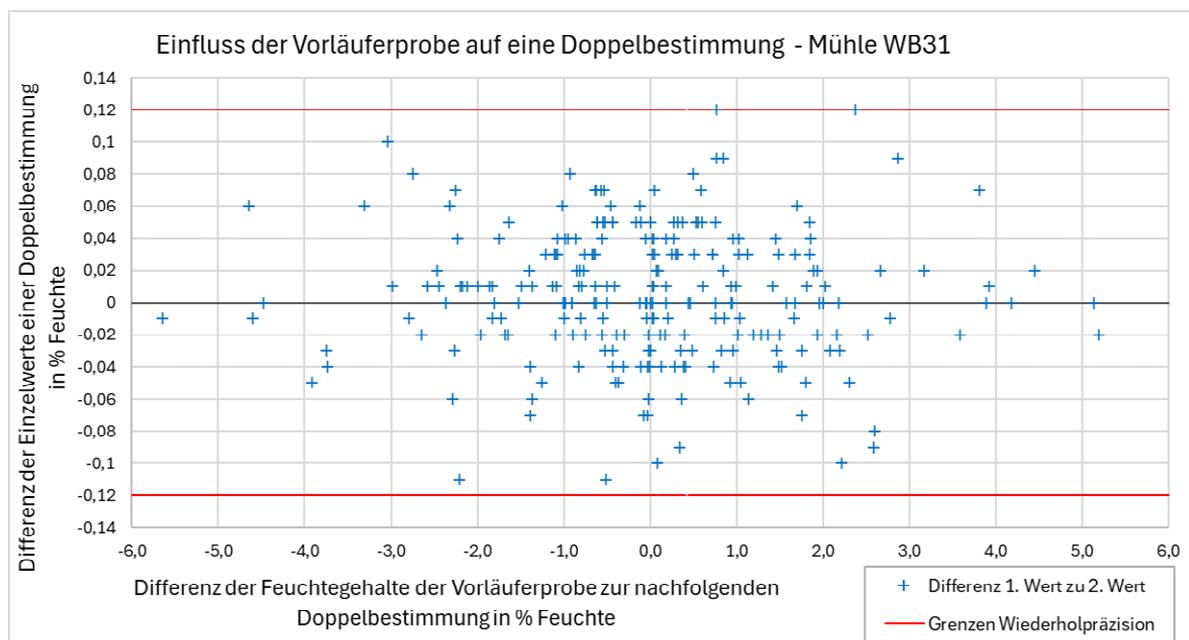
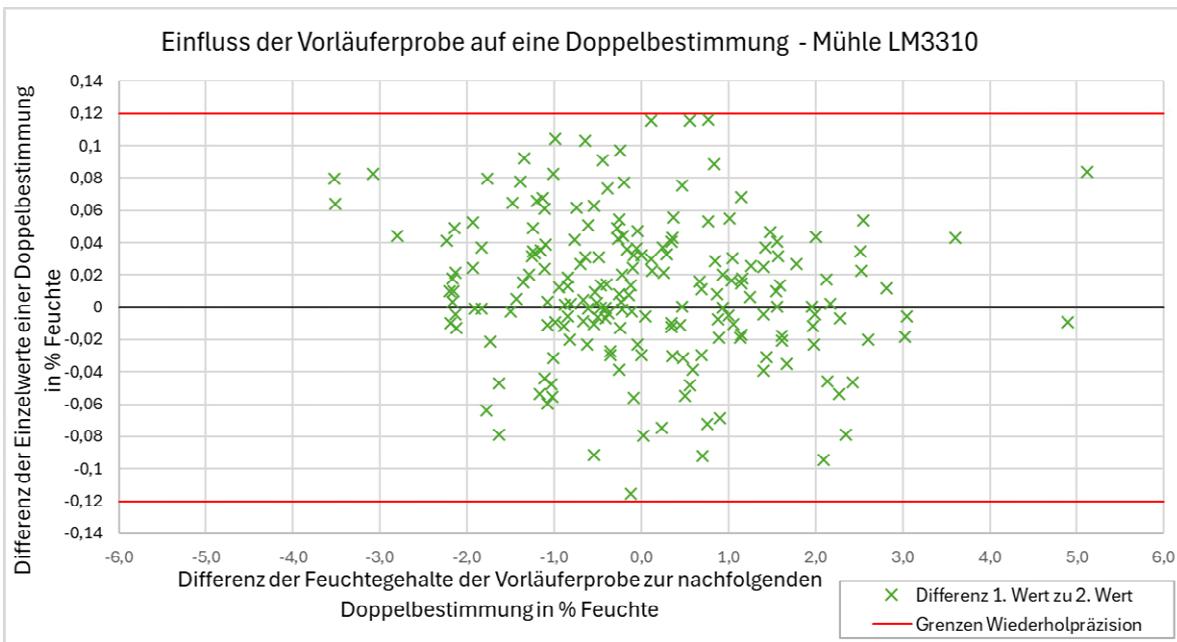


Abbildung 12: Mögliche Verschleppungseffekte bei Mühlen WB31 (Werte beider Prüfmuster)

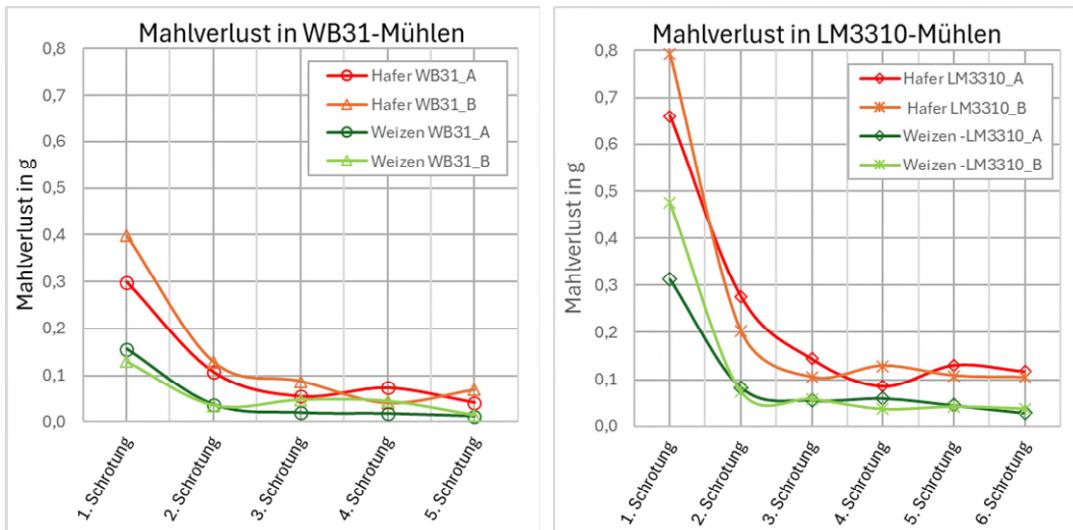


**Abbildung 13:** Mögliche Verschleppungseffekte bei Mühlen LM3310 (Werte beider Prüfmuster)

## 4.2 Mahlverlust

Zur Beurteilung des Mahlverlustes wurden Messreihen aufgenommen, bei denen jeweils die unverarbeitete Probe und das daraus gewonnene Probenschrot gewogen wurde. Die Differenz wird als der Verlust dieses Mahlvorgangs betrachtet. Dies wurde mit Portionen von jeweils 10 g Weizen und Hafer und der feinstmöglichen Einstellung für den Schrotungsgrad durchgeführt.

Es wurde mit einer gereinigten Mahlkammer begonnen und dann fünf Mahlvorgänge hintereinander ohne Reinigung durchgeführt. Die Mahldauer war auf die sichere vollständige Schrotung des gesamten Probenmenge abgestimmt. Die Menge des im Auffangbecher gesammelten Schrottes wurde als Auswaage betrachtet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 14 dargestellt, die Daten dazu befinden sich im Anhang in Tabelle 7.



**Abbildung 14:** Mahlverluste für Hafer und Weizen in den Mühlen WB31 und LM3310 bei 10 g Ausgangs-Probenmenge

Wie bereits die etwas größeren Spaltmaße erwarten ließen, wurde bei der Mühle LM3310 ein größerer Mahlverlust als bei der Mühle WB31 festgestellt.

Grundsätzlich besetzt die 1. Schrotung mit einer gereinigten Mühle weitestgehend alle üblichen Toträume der Mahlkammer, so dass hier die Verluste immer am größten ausfallen. Mit Fortsetzung der Messreihe pendelt sich der Mahlverlust bei beiden Mühlen auf ein geringes Niveau ein.

Dies bestätigt den Sinn der in der GM-P 9-1 [3], beschriebenen Vorgehensweise, zu Beginn einer Analyse zuerst eine Blindprobe zur Konditionierung der Mühle zu vermahlen.

In der Sichtkontrolle ergibt sich bei Weizen, Gerste, Roggen und Triticale für beide Mühlen ein sehr ähnliches Bild bei der Belegung der Toträume und der anhaftenden Reste. In den Abbildungen 15 bis 22 ist die Belegung der inneren Mahlscheiben der Mühlen WB31 und LM3310 für Weizen und Hafer dargestellt.

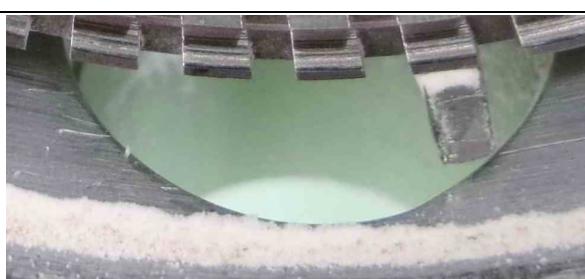
Auffällig ist, dass sich Hafer und Mais beim Mahlorgang anders verhalten und sich an der oberen Kante des Auslassstutzen an der Prallseite ein Teil des Schrotes zu einem kompakten Rand verbackt, der sich bei den anderen Fruchtarten in dieser Art nicht bildet. Dies tritt bei beiden Mühlen in vergleichbarer Weise auf. Für die Praxis lässt sich daraus ableiten, dass bei Hafer und Mais immer höhere Mahlverlusten einkalkuliert werden müssen und bei der Reinigung besondere Sorgfalt notwendig ist, um eine Probenverschleppung zu vermeiden.



**Abbildung 15:** Weizen -  
Mahlwerk Mühle WB31



**Abbildung 16:** Weizen -  
Mahlwerk Mühle LM3310



**Abbildung 17:** Weizen -  
Auslassstutzen WB31



**Abbildung 18:** Weizen -  
Auslassstutzen LM3310



**Abbildung 19:** Hafer -  
Mahlwerk Mühle WB31



**Abbildung 20:** Hafer -  
Mahlwerk Mühle LM3310



**Abbildung 21:** Hafer -  
Auslassstutzen Mühle WB31



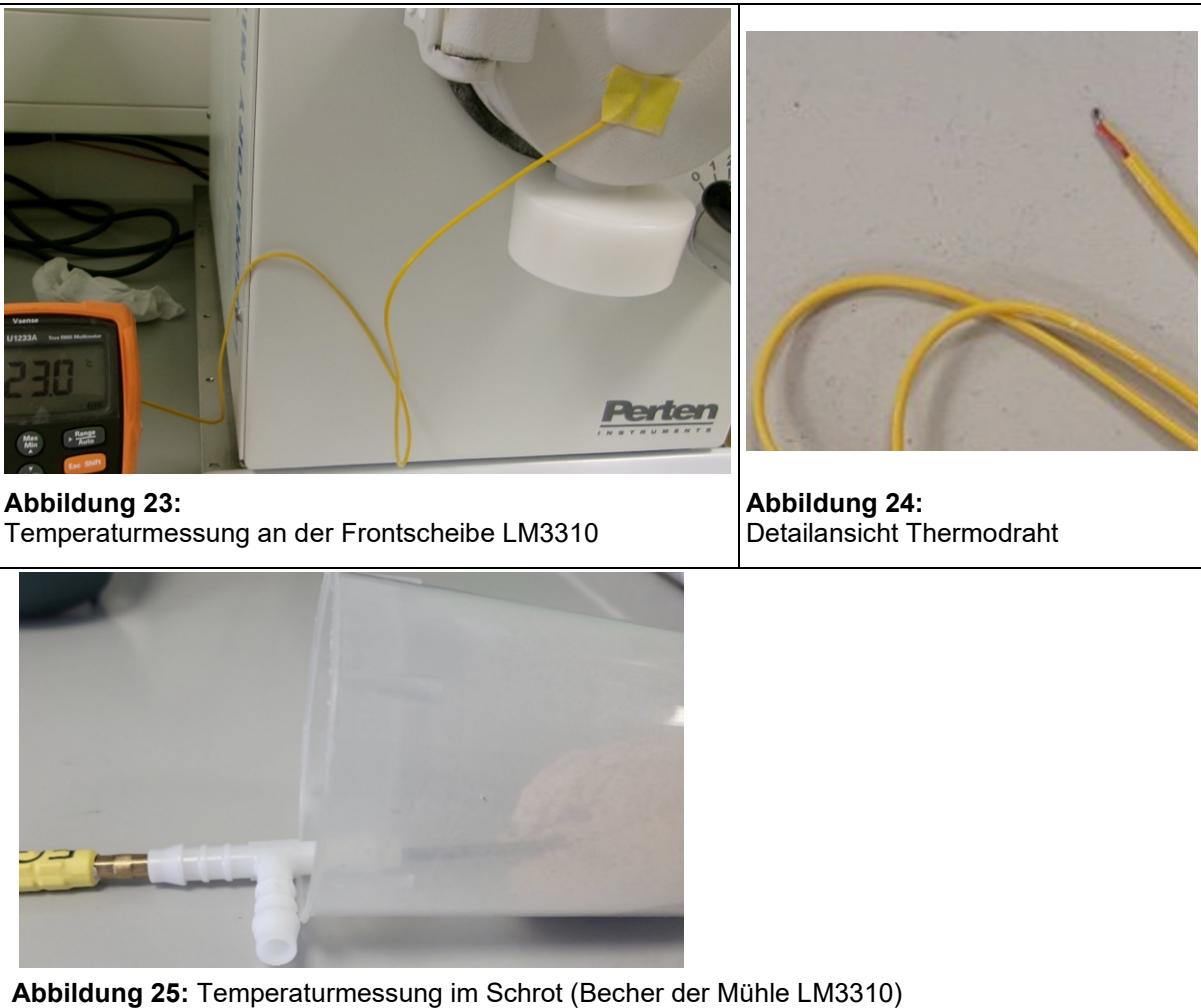
**Abbildung 22:** Hafer -  
Auslassstutzen Mühle LM3310

## 5 Temperaturanstieg beim Schrotten

Bedingt durch den Mahlprozess entsteht zwangsläufig Reibungswärme, so dass die Mahlkammer und auch das Schrot einen leichten Temperaturanstieg erfahren. Dies ist in der DIN EN 712 [1] als auch der DIN EN 6540 [2] mit einer erlaubten Erwärmung von 5 °C berücksichtigt.

Diesen prozessbedingten Temperaturanstieg halbwegs reproduzierbar abzuschätzen, stellte sich als Herausforderung dar. Als beste Möglichkeit zur Temperaturerfassung wurden die folgenden zwei Messstellen ausgewählt:

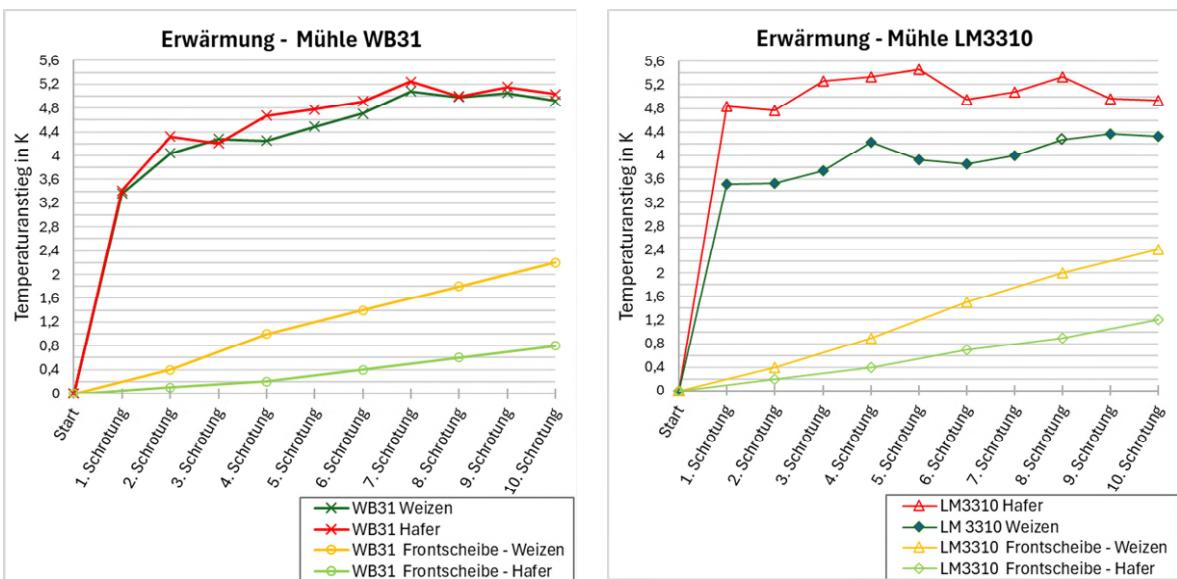
- Außen an der Frontscheibe der Mahlkammer mit Thermodraht (nicht kalibriert), Abbildungen 23 und 24;
- Im frisch gemahlenen Schrot, sofort nach jedem Mahlvorgang, in definierter Eintauchtiefe mit Pt100-Temperatursensoren (kalibriert), Abbildung 25.



Als Bezugstemperatur zur Abschätzung des Temperaturanstiegs wurde jeweils die Temperatur der unverarbeiteten, auf Raumtemperatur angeglichenen Probe verwendet. Es wurden insgesamt 10 Proben von jeweils ca. 5 g in einem Abstand von 2 min vermahlen. Die Probenmenge entspricht dabei an der üblichen Portion für eine Referenzbestimmung. Die Mahlkammer wurde zwischen den Messungen nicht geöffnet oder gereinigt. Beispielhaft wurden Proben von trockenem Weizen und trockenem Hafer verwendet. Es wurde jeweils eine Messreihe zu jeder Probe pro Mühle aufgenommen, mit jeweils einer Mühle jeden Typs (Prüfmuster LM3310\_A und WB31\_B). Die im Folgenden dargestellten Messungen sind daher nur zur groben Einschätzung der Erwärmung gedacht. Eine detailliertere Untersuchung der Erwärmung unter Berücksichtigung weiterer Einflussfaktoren ist für die hier zu treffende Aussage nicht notwendig.

Diese Ergebnisse, dargestellt in Abbildung 26, zeigen, dass das Kriterium der Erwärmung von max. 5 °C von allen Mühlen eingehalten werden kann, sofern darauf geachtet wird, dass die Mahlvorgänge (Schrotungen) nicht zu schnell hintereinander erfolgen. Bei dem hier gewählten Zeitabstand von 2 Minuten wurde vereinzelt eine zu starke Erwärmung beobachtet. Da die Erwärmung des Mahlwerkes jedoch stark von der jeweiligen Probenart und- beschaffenheit abhängen kann, lässt sich daraus keine allgemeingültige Empfehlung ableiten.

Hafer verursacht durch sein Mahlverhalten grundsätzlich einen höheren Temperaturanstieg, so dass hier verstärkt auf einen ausreichenden Zeitabstand zwischen den Schrotungen zu achten ist. Alle Messdaten zu Abbildung 26 befinden sich im Anhang in Tabelle 8.



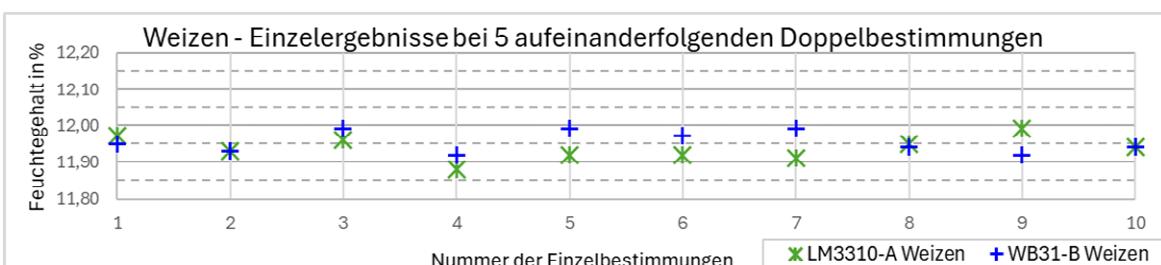
**Abbildung 26:** Temperaturanstieg bei aufeinanderfolgenden Schrotungen in WB31 und LM3310

Betrachtet man im Vergleich dazu die Messreihen von wiederholten Bestimmungen derselben Probe unter dem Aspekt der Erwärmung des Mahlwerks bei aufeinanderfolgenden Schrotungen, so lässt sich kein systematischer Einfluss des zunehmenden Temperaturanstiegs erkennen. Bei dem hier angewandten, routinierten Arbeitsablauf, bei dem die Zeitabstände zwischen zwei Schrotungen typischer ein bis zwei Minuten betragen, ist somit für diese Messreihen der Einfluss der Erwärmung des Mahlgutes insgesamt zu gering, um einen messbaren Feuchteverlust während der Schrotung über die Messreihen zu verursachen. In Abbildungen 27 und 28 sind beispielhaft die Ergebnisse der Messreihen für Hafer und Weizen, bestimmt unter Verwendung jeweils einer Mühle LM3310 und einer Mühle WB31, dargestellt.

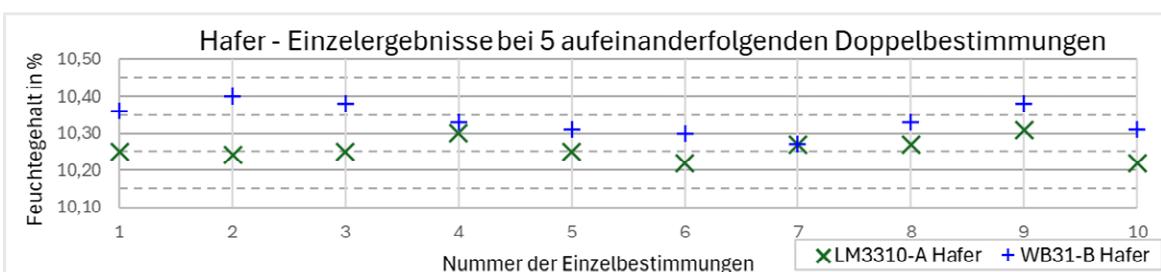
Gäbe es einen signifikanten Temperatureinfluss, so müsste ein Abwärtstrend der Feuchtegehalte mit steigender Analysennummer zu erkennen sein. Dies ist nicht zu beobachten.

Die Messdaten zu Abbildungen 27 und 28 befinden sich im Anhang in Tabelle 9.

Der Einfluss der Erwärmung durch den Mahlprozess ist also bei routinemäßigem Gebrauch und vergleichbarer Probenanzahl bei beiden Mühlen WB31 und LM3310 vernachlässigbar.



**Abbildung 27:** Entwicklung der Einzelergebnisse bei aufeinanderfolgender Schrotung - Weizen



**Abbildung 28:** Entwicklung der Einzelergebnisse bei aufeinanderfolgender Schrotung – Hafer

## 6 Schrotung

Für die effektive Trocknung unter den in Normen [1;2] definierten Bedingungen ist die Zerkleinerung der Körner unerlässlich. Bei zu großen Partikeln ist unter Umständen nicht mehr gewährleistet, dass diese in der vorgegebenen Zeit auch in ihrem Inneren vollständig getrocknet werden. In den Normen [1;2] ist daher eine Teilchengrößenverteilung vorgegeben, die mit der Schrotung einer Probe mindestens erreicht werden soll (siehe auch Abschnitt 2.1).

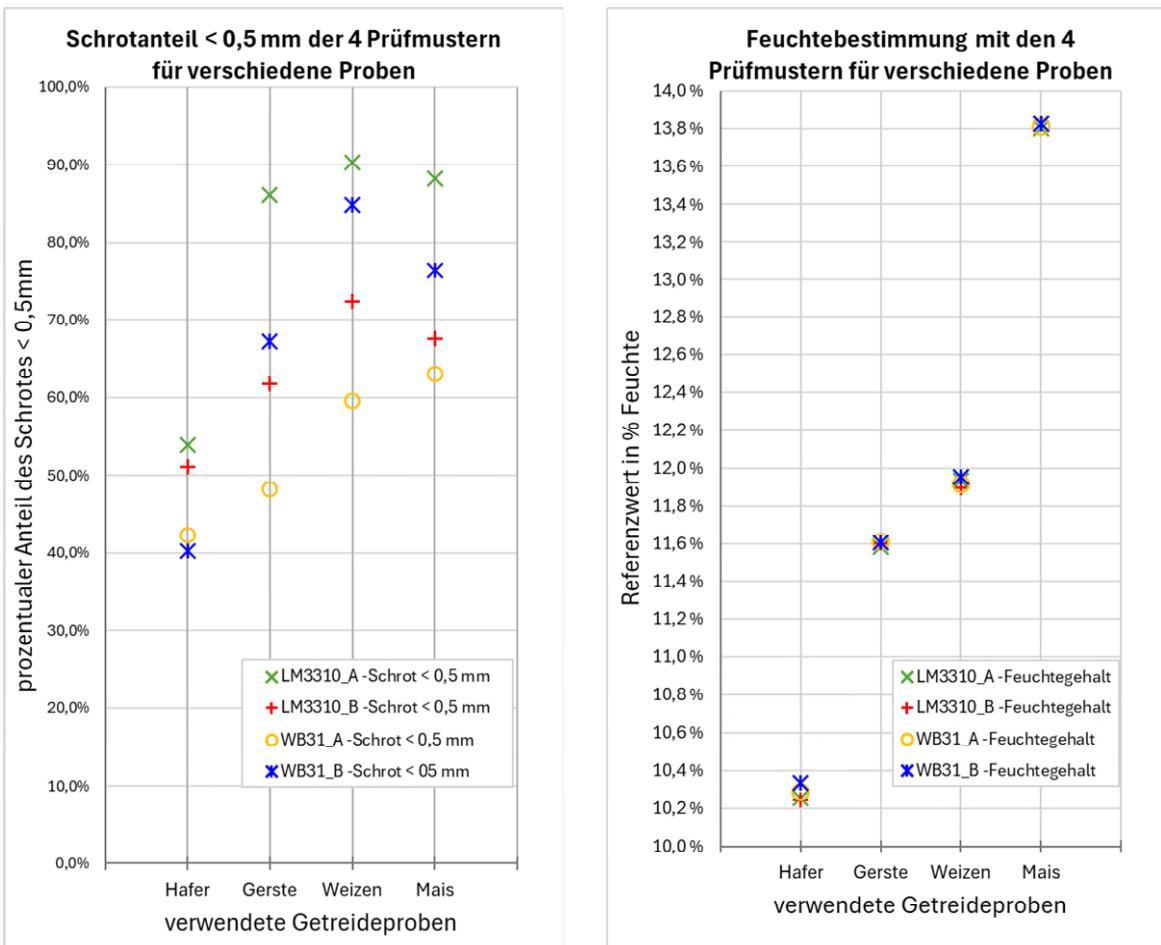
### 6.1 Betrachtung der Mittelwerte

Exemplarisch wurde von vier Proben unterschiedlicher Fruchtarten, unter Verwendung aller vier Prüfmuster sowohl die Teilchengrößenverteilung bei der Schrotung als auch der Feuchtegehalt der Proben bestimmt. Jede Feuchtebestimmung und jede Siebung wurden fünfmal pro Prüfmuster wiederholt. Feuchtebestimmung und Siebung fanden unabhängig voneinander an separaten Teilproben der ausgewählten Proben statt. In Abbildung 29 sind jeweils die Mittelwerte über die Teilchengrößenfraktion kleiner 0,5 mm und die Mittelwerte über alle Feuchtebestimmungen dargestellt, die Messdaten dazu befinden sich im Anhang in Tabelle 10.

Für die Bestimmung der Teilchengrößenverteilung wurden Prüfsiebe entsprechend den Vorgaben der Normen [1;2] genutzt. Die Teilproben von jeweils 10 g wurden mit der feinstmöglichen Einstellung der Mühlen vermahlen, das gewonnene Schrot in den Prüfsiebturm gegeben und für ca. 90 s per Hand gesiebt. Der Anteil an allen gröberen Siebfaktionen größer als 1,0 mm traten bei keinem Probenschrot und auf keinem Prüfmuster auf, so dass im Folgenden nur die feinste Siebfaktion mit einem Korngrößenanteil von kleiner 0,5 mm betrachtet wird.

Als wichtigste Beobachtung ist hervorzuheben, dass trotz der recht großen Unterschiede im Korngrößenanteil von kleiner 0,5 mm die Mittelwerte für den Feuchtegehalt sehr gut bei allen Mühlen und Fruchtarten übereinstimmt. Selbst bei Hafer, bei dem zwei der getesteten Mühlen nicht die erforderliche Feinheit des Schrotes von mindestens 50 % kleiner 0,5 mm Korngröße erreichten, stimmen die Ergebnisse im Mittel innerhalb von 0,09 % Feuchte überein.

Bei Betrachtung der Feuchte-Ergebnisse in Korrelation zum Schrotungsgrad in Abbildung 29 lässt sich kein eindeutiger systematischer Zusammenhang zwischen dem Schrotungsgrad und dem Ergebnis für den Feuchtegehalt erkennen.



**Abbildung 29:** Teilchengrößen-Anteil unter 0,5 mm und Feuchtegehalte nach dem Referenzverfahren unter Verwendung der 4 Prüfmuster

## 6.2 Betrachtung der Ergebnisse der mehrfachen Doppelbestimmungen

Die bereits in vorherigen Abschnitt 6.1 dargestellten Mittelwerte von fünf Doppelbestimmung werden hier noch einmal im Detail betrachtet. In der Abbildung 30 sind alle Ergebnisse der fünf Doppelbestimmungen nach dem Referenzverfahren dargestellt. Alle Messdaten zur Abbildung 30 befinden sich im Anhang in Tabelle 11.

Die separate Bewertung jeder Feuchte-Messreihe erfüllt die kritische Differenz  $CD$  (laborintern) für jedes Prüfmuster und jede Fruchtart.

Bei einer zusammengefassten Betrachtung aller Messreihen pro Fruchtart der 4 Prüfmuster als eine Grundgesamtheit wird die kritische Differenz  $CD$  (laborintern) für Gerste, Weizen und Mais erfüllt, für Hafer jedoch nicht.

Auffällig ist dabei, dass sich eines der Prüfmuster (WB31\_B) in den Hafer-Feuchte-Ergebnisse recht deutlich von den anderen 3 Prüfmustern unterscheidet, die wiederum eine gute Übereinstimmung zueinander haben. Hier wird angenommen, dass sich die Probe im Laufe der Messungen verändert hat. Aufgrund der begrenzten Probenmenge ließ sich diese Annahme nicht verifizieren.

Wird also das Prüfmuster WB31\_B bei der Bewertung für Hafer ausgenommen, wird auch hier die kritische Differenz  $CD$  (laborintern) erfüllt.

Daraus kann gefolgert werden, dass die 4 verwendeten Mühlen im Sinne der Wiederholbedingung „dieselbe Ausstattung“ als gleichwertig angesehen werden können.

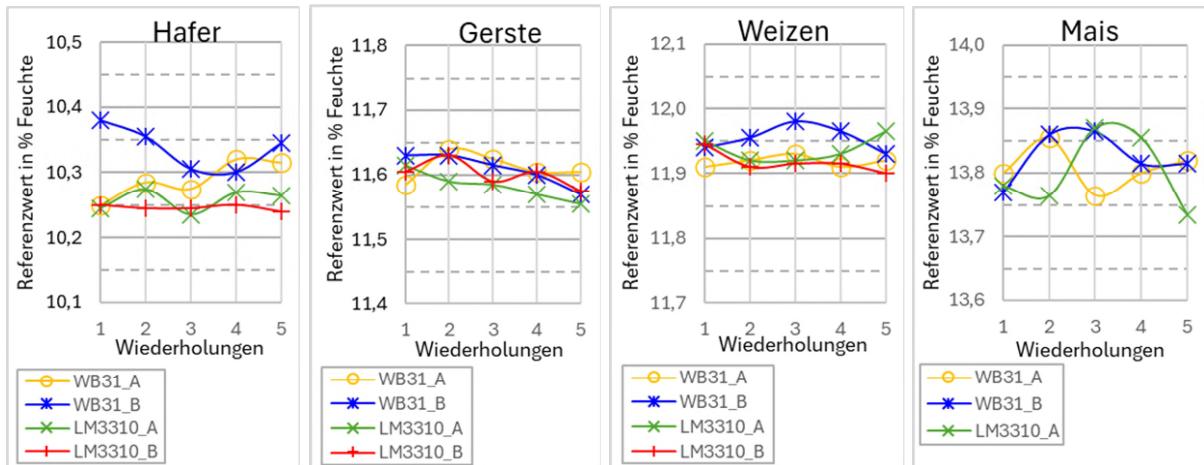


Abbildung 30: Wiederholte Bestimmungen verschiedener Proben auf allen Prüfmustern

## 7 Detaillierter Vergleich der LM3310-Mühlen

Da sich beide LM3310-Mühlen noch im Zustand der Werks-Justierung befanden, also keinerlei Veränderungen an der Positionierung der beiden Mahlscheiben zueinander vorgenommen wurden, ergab sich hier die Möglichkeit, die Variation der Modelle eines Typs zueinander zu untersuchen.

Beide LM3310-Mühlen wurden mit der gleichen Mahlstufe „0“ für den Schrotungsgrad verwendet. Entgegengesetzt zu den ursprünglichen Erwartungen zeigten sich deutliche Unterschiede im Korngrößenverteilung der beiden Prüfmuster.

Auch hier wurden bei keinem Prüfmuster gröbere Siebfractionen größer 1,0 mm für kein Probenschrot festgestellt, doch in den feineren Siebfractionen ergaben sich deutliche Unterschiede. Vor allem ist der Anteil kleiner 0,5 mm von Interesse, so dass nur dieser in Tabelle 5 näher betrachtet wird. Die Daten aller Siebfractionen beider LM3310-Mühlen befinden sich im Anhang in Tabelle 12.

Tabelle 5 - Mühlen LM3310 – Korngrößenanteil kleiner 0,5 mm

	Korngrößenanteil kleiner 0,5 mm		Differenz LM3310_B zu LM3310_A
	LM3310_A	LM3310_B	
Weizen	90,3 %	72,4 %	-17,9 %
Gerste	86,1 %	61,7 %	-24,4 %
Roggen	86,3 %	70,2 %	-16,1 %
Triticale	88,7 %	76,0 %	-12,7 %
Hafer	53,8 %	51,0 %	-2,8 %
Mais	88,2 %	67,5 %	-20,7 %

Um die Auswirkungen dieses unterschiedlichen Mahlverhaltens beurteilen zu können, wurden weitere Referenzbestimmungen mit Weizen, Roggen, Gerste und Hafer mit beiden Prüfmustern A und B der Mühle LM3310 durchgeführt.

In den Abbildungen 31 bis 34 sind die Ergebnisse dargestellt. Alle Messdaten hierzu befinden sich im Anhang in den Tabellen 13 und 14. Zwischen den Feuchtebestimmungen unter Verwendung der beiden LM3310-Mühlen lässt sich trotz des unterschiedlichen

Mahlverhaltens kein systematischer Unterschied erkennen. Die jeweiligen Wertepaare erfüllen das Bewertungskriterium kritische Differenz  $CD$  (laborintern) in allen Fällen. Für jede Feuchtebestimmung wurde die jeweilige erweiterte Messunsicherheit  $U$  mit  $k=2$  gemäß dem „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ [4] ermittelt. Für die Mühle LM3310\_A ergab sich über alle Proben und Fruchtarten hinweg eine Spannweite der Messunsicherheit von 0,06 bis 0,11 % Feuchte, für die Mühle LM3310\_B eine Spannweite der Messunsicherheit von 0,06 bis 0,12 % Feuchte.

Die Differenz der Doppelbestimmungen beider Mühlen ist im Verhältnis zur Messunsicherheit der jeweiligen Doppelbestimmung geringer und kann damit als nicht signifikant angesehen werden (siehe Tabellen 13 bis 16). Die Differenz der Doppelbestimmung beider Mühlen erfüllt immer das Bewertungskriterium  $CD$  (laborintern).

Daraus kann gefolgert werden, dass die beiden LM-3310-Prüfmuster als gleichwertig angesehen werden können.

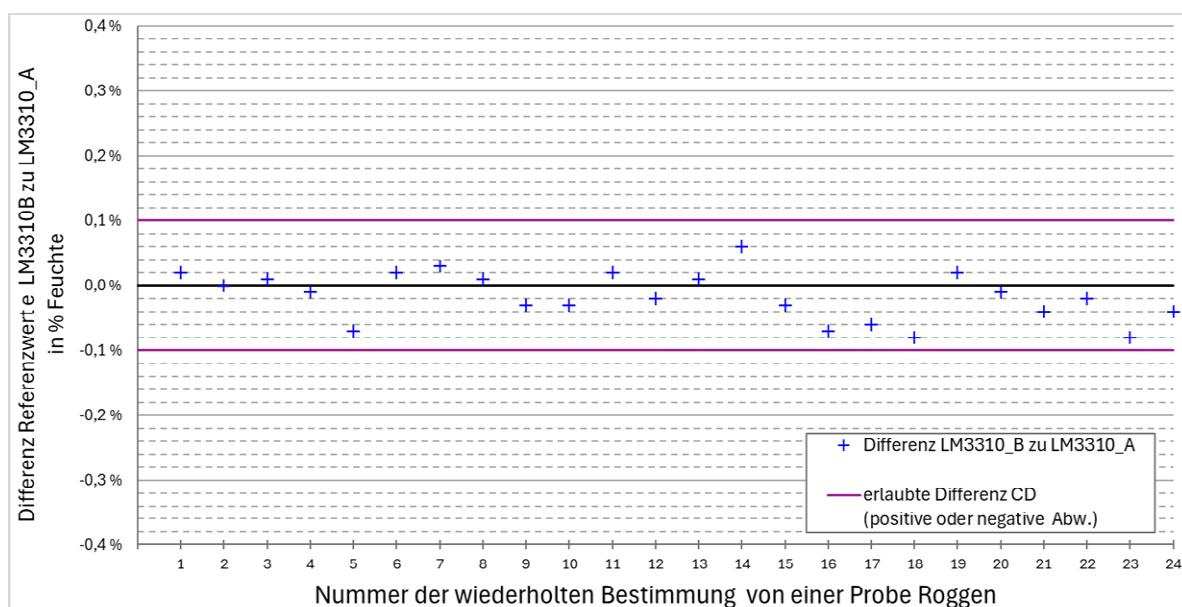


Abbildung 31: Roggen - wiederholte Feuchtebestimmungen mit beiden LM3310-Prüfmustern

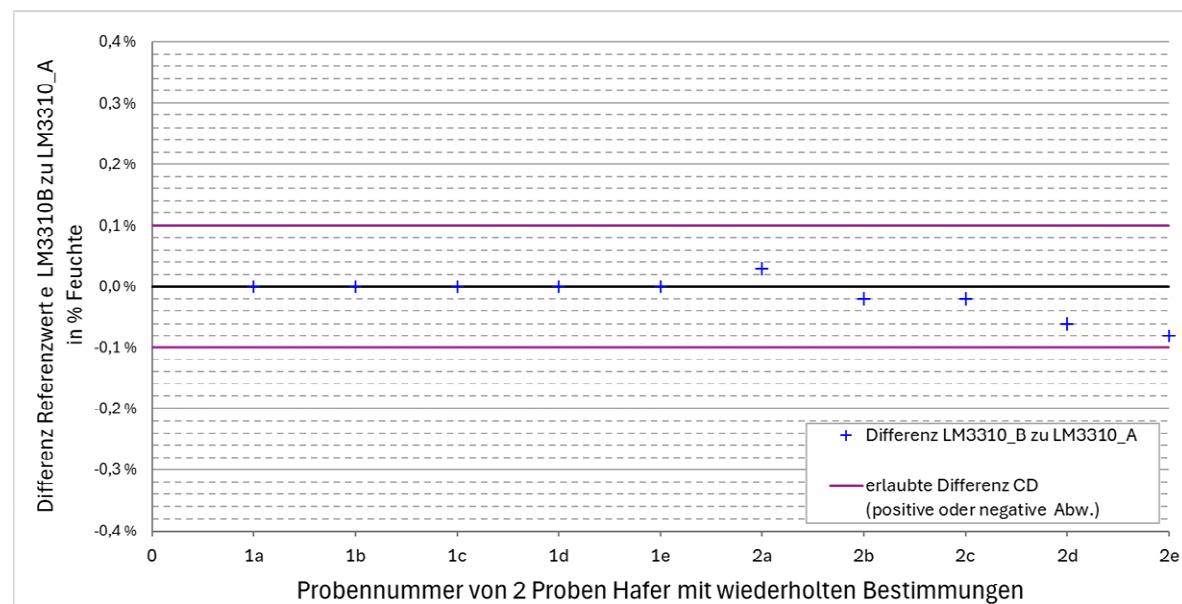
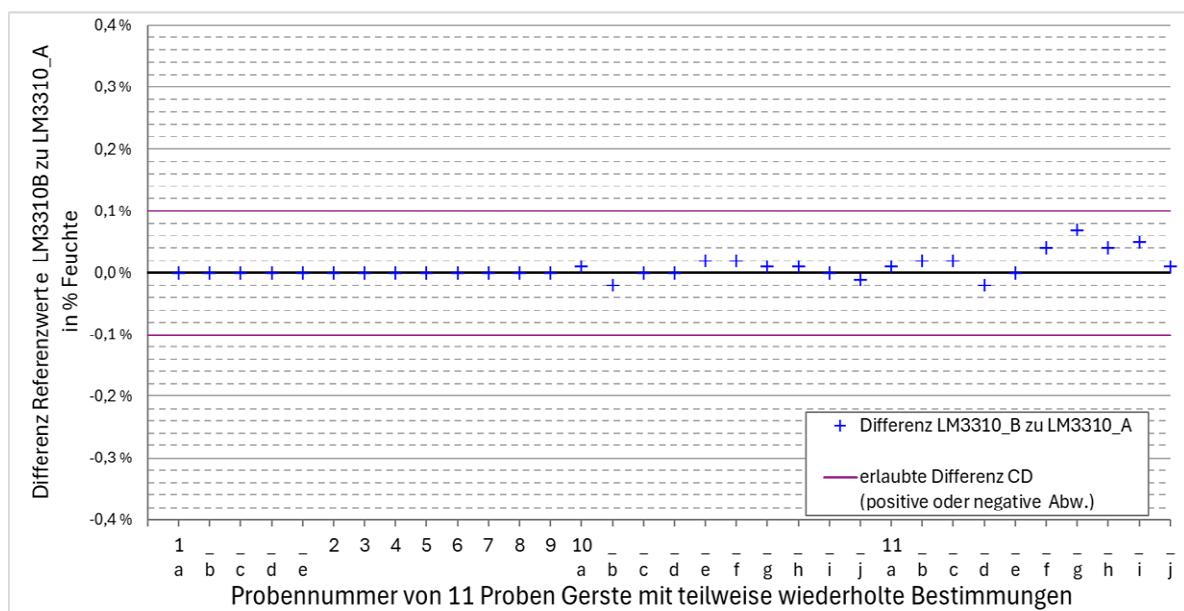
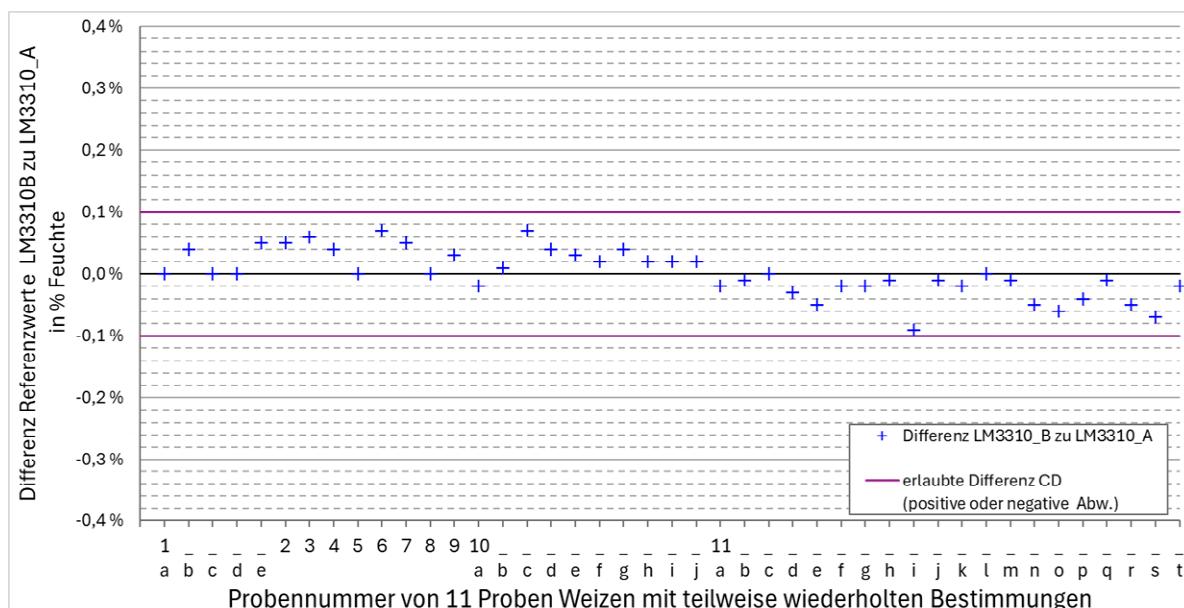


Abbildung 32: Hafer – wiederholte Feuchtebestimmungen mit beiden LM3310-Prüfmustern



**Abbildung 33:** Gerste - wiederholte Feuchtebestimmungen mit beiden LM3310-Prüfmustern



**Abbildung 34:** Weizen - wiederholte Feuchtebestimmungen mit beiden LM3310-Prüfmustern

## 8 Zusammenfassung

Die durchgeführten Vergleichsmessungen zeigen, dass die Mühle Perten LM3310 ein adäquater Ersatz für die Mühle Babendererde WB31 ist.

Durch das identische Mahlprinzip mit den identischen Mahlscheiben konnten vergleichbare Ergebnisse in der Feuchtebestimmung erzielt werden. Die Wärmeentwicklung während des Mahlvorgangs war für beide Modelle vergleichbar, ein Einfluss der geringen festgestellten Erwärmung auf die Feuchtebestimmung konnte bei beiden Modellen nicht nachgewiesen werden.

Die leichten baulichen Unterschiede in der Probenführung und in der Handhabung hatten keine merklichen Effekte auf das Ergebnis der Feuchtebestimmung.

Trotz der unterschiedlichen Feinheit der Probenschrotes stimmten die Ergebnisse der Feuchtebestimmung mit allen 4 Prüfmustern sehr gut überein. Sofern die Korngrößenverteilung die Anforderungen der Normen [1;2] erfüllte, ließ sich kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Schrotungsgrad und Feuchtegehalt nachweisen. Die sich leicht andeutenden Tendenzen sind nicht signifikant und könnten ursächlich auch durch das verwendete Probenmaterial, welches als Naturprodukt niemals in sich komplett homogen oder zeitlich stabil ist, verursacht sein. Weitere Untersuchungen unter diesem Aspekt wurden nicht durchgeführt, da dies weit über den Rahmen dieser Untersuchung hinausgehen würde.

Eine wichtige Erkenntnis war, dass selbst die Feuchtebestimmungen für Hafer, bei dem die beiden WB31-Mühlen nicht die geforderte Feinheit der Schrotung erreichten, trotzdem noch vergleichbare Ergebnisse im Rahmen der herangezogenen Kriterien erzielten.

Die beiden zur Verfügung stehenden Prüfmuster der Mühle Perten LM3310 wurden mit der Werks-Justierung des Mahlscheibenabstandes verwendet, also wie Auslieferungszustand.

Die unerwartet großen Unterschiede in der Feinheit der Schrotung zwischen den beiden Prüfmustern war Anlass für weitere Untersuchungen. Hier zeigte sich, dass diese Unterschiede jedoch keinen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis der Feuchtebestimmung bei keiner der analysierten Fruchtarten hatte. Die mittlere Abweichung der Feuchtebestimmungen der beiden Mühlen zueinander ist nicht signifikant im Rahmen der verwendeten Kriterien.

Aus diesen, so wie auch aus den Ergebnissen des Vergleichs aller 4 Prüfmuster lässt sich schließen, dass die Anforderungen der Normen [1; 2] an die Feinheit der Schrotung trotz der recht grob erscheinenden Einteilung ausreichend für die Durchführung der Referenzverfahren ist.

In Tabelle 6 sind erzielten Ergebnisse für jedes Vergleichskriterium zusammengefasst dargestellt.

**Tabelle 6 - Vergleichskriterien und Ergebnisse**

Vergleichskriterium	Ergebnis
Ausführung der Mahlkammern	Identisch in den wichtigsten Bauteilen.
Handhabung der Mühlen	Insgesamt vergleichbar.
Verschleppung von Probenmaterial	Bei Vorgehensweise nach [3] nicht nachweisbar.
Mahlverlust von Probenmaterial	Leicht höhere Menge bei der Mühle LM3310, bei entsprechender Berücksichtigung keine Auswirkung auf Referenzverfahren.
Temperaturanstieg beim Schroten	Vergleichbares Verhalten beider Mühlentypen. Keine signifikante Auswirkung auf Referenzverfahren nachweisbar.
Schrotung – Vergleich der Mahlgrade	Anforderungen nach [1;2] werden eingehalten, jedoch erzeugt jede Mühle eine individuelle Korngrößenverteilung.
Schrotung – Vergleich der Ergebnisse der Feuchtebestimmung	Trotz unterschiedlicher Korngrößenverteilung liegen die Ergebnisse der Feuchtebestimmung für alle Mühlen innerhalb der Bewertungskriterien nach Abschnitt 2.2.
Vergleich Feuchtebestimmung mit den LM3310-Mühlen	Die Ergebnisse der Feuchtebestimmung mit den LM3310-Prüfmustern erfüllen die Bewertungskriterien nach Abschnitt 2.2.

Die Mühle Perten LM3310 ist als Nachfolgemodell zur Mühle Babendererde WB31 für die Bestimmung des Feuchtegehaltes von Getreide und Mais nach den Normen [1] und [2] insbesondere im Rahmen von Konformitätsbewertungen nach Modul B und Modul F von Getreidefeuchtemessgeräten geeignet.

Dieser Bericht schließt jedoch nicht aus, dass weitere, für diesen Zweck geeignete Mühlen auf dem Markt erhältlich sind. Ohne den direkten Vergleich zur bisherigen, abgestimmten Mühle WB31 können jedoch keine Aussagen zur Eignung für den in diesem Dokument beschriebenen Zweck getroffen werden. Das in diesem Bericht geschilderte Vorgehen kann als Vorlage für eine Testprozedur zur Feststellung der Gleichwertigkeit weiterer Mühlen unterschiedlichen Typs oder Herstellers dienen.

## 9 Danksagung

Wir danken der Firma CAB Laborservice & Handel für die Bereitstellung des Prüfmusters LM3310\_B für die Dauer der Messungen.

Des Weiteren gebührt den PTB-Kolleginnen Lucienne Kobow besonderer Dank für die Durchführung vieler Messungen und Dr.-Ing. Regina Deschermeier für die konstruktiven Diskussionen zur Bewertung und Darstellung der Ergebnisse.

## 10 Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN ISO 712-1:2024 „Getreide und Getreideerzeugnisse– Bestimmung des Feuchtegehaltes– Teil1: Referenzverfahren“;
- [2] DIN EN ISO 6540:2021 „Mais – Bestimmung des Feuchtegehalts (von gemahlenen und ganzen Körnern)“;
- [3] Gesetzliches Messwesen - Prüfanweisung - Messgeräte zur Bestimmung der Feuchte von Getreide und Ölsaaten (GM-P 9.1), in der Fassung vom März 2018;
- [4] OIML G 1-GUM 1 Edition 2023 „Guide to the expression of uncertainty in measurement — Part 1: Introduction“.

## 11 Anhang

### 11.1 Weitere verwendete Laborausstattung

Zusätzlich wurde folgende Laborausstattung verwendet:

- 2 Trockenöfen Chopin EM10;
- 2 Digitalthermometer Gerathem DTM 3000;
- Waage Mettler Toledo MS403S, Wägebereich bis 400 g, Auflösung: 0,001 g;
- Exsikkator mit Silicagel als Trockenmittel;
- Wägegläser, Durchmesser: 5,5 cm.

Die Nutzung der Öfen erfolgte zufällig, eine feste Zuordnung eines Ofens zu einer Mühle erfolgte nicht.

### 11.2 Messdaten

**Tabelle 7 - Messdaten zu Abbildung 14 „Mahlverluste bei LM3310 und WB31“**

Mahlverlust in g (Mittelwerte aus 3 Messreihen)								
	LM3310 _A Hafer	LM3310 _B Hafer	LM3310 _A Weizen	LM3310 _B Weizen	WB31 _A Hafer	WB31 _B Hafer	WB31 _A Weizen	WB31 _B Weizen
1. Schrotung	0,660	0,792	0,313	0,475	0,299	0,397	0,157	0,130
2. Schrotung	0,277	0,202	0,083	0,074	0,107	0,128	0,037	0,035
3. Schrotung	0,144	0,105	0,055	0,058	0,055	0,088	0,020	0,048
4. Schrotung	0,087	0,129	0,059	0,037	0,073	0,040	0,018	0,044
5. Schrotung	0,131	0,108	0,044	0,042	0,041	0,069	0,012	0,014
6. Schrotung	0,118	0,105	0,028	0,037				

**Tabelle 8 - Messdaten zu Abbildung 26 „Temperaturrentwicklung bei aufeinanderfolgenden Schrotungen in LM3310 und WB31“**

	Temperaturanstieg in K							
	LM3310 Weizen Schrot	LM3310 Hafer Schrot	LM3310 Weizen – Frontscheibe	LM3310 Hafer – Frontscheibe	WB31 Weizen Schrot	WB31 Hafer Schrot	WB31 Weizen – Frontscheibe	WB31 Hafer - Frontscheibe
Start	0	0	0	0	0	0	0	0
1. Schrotung	3,5	4,8			3,4	3,4		
2. Schrotung	3,5	4,8	0,2	0,4	4,0	4,3	0,1	0,4
3. Schrotung	3,7	5,3			4,3	4,2		
4. Schrotung	4,2	5,3	0,4	0,9	4,3	4,7	0,2	1,0
5. Schrotung	3,9	5,5			4,5	4,8		
6. Schrotung	3,9	5,0	0,7	1,5	4,7	4,9	0,4	1,4
7. Schrotung	4,0	5,1			5,1	5,2		
8. Schrotung	4,3	5,3	0,9	2	5,0	5,0	0,6	1,8
9. Schrotung	4,4	5,0			5,1	5,2		
10. Schrotung	4,3	4,9	1,2	2,4	4,9	5,0	0,8	2,2

**Tabelle 9 - Messdaten zu Abbildung 27 und 28 „Entwicklung der Einzelergebnisse bei aufeinanderfolgender Schrotung der Proben“**

Ergebnis der Einzelbestimmungen – Feuchtegehalt in %				
Nr. Einzelbestimmung	LM3310-A Hafer	WB31-B Hafer	LM3310-A Weizen	WB31-B Weizen
1	10,25	10,36	11,97	11,95
2	10,24	10,40	11,93	11,93
3	10,25	10,38	11,96	11,99
4	10,30	10,33	11,88	11,92
5	10,25	10,31	11,92	11,99
6	10,22	10,30	11,92	11,97
7	10,27	10,27	11,91	11,99
8	10,27	10,33	11,95	11,94
9	10,31	10,38	11,99	11,92
10	10,22	10,31	11,94	11,94

**Tabelle 10 - Messdaten zu Abbildung 29 „Schrotanteil unter 0,5 mm und Feuchtegehalte nach dem Referenzverfahren“**

	WB31_A	WB31_B	LM3310_A	LM3310_B	
Anteil Schrot kleiner 0,5 mm (Mittelwerte aus je 5 Bestimmungen)					
<b>Hafer</b>	42,3%	40,2%	53,9%	51,1%	
<b>Gerste</b>	48,2%	67,2%	86,1%	61,7%	
<b>Weizen</b>	59,6%	84,9%	90,3%	72,4%	
<b>Mais</b>	63,0%	76,4%	88,2%	67,5%	
Feuchtegehalt (Mittelwerte aus je 5 Bestimmungen)					
<b>Hafer</b>	10,29 %	10,34 %	10,26 %	10,25 %	10,28 %
<b>Gerste</b>	11,61 %	11,61 %	11,58 %	11,60 %	11,60 %
<b>Weizen</b>	11,92 %	11,95 %	11,94 %	11,90 %	11,93 %
<b>Mais</b>	13,81 %	13,83 %	13,80 %		13,81 %
					max. Differenz

Anmerkung: Die Menge der Maisprobe erwies sich als nicht ausreichend für die Bestimmung des Feuchtegehaltes mit allen 4 Prüfmustern.

**Tabelle 11 - Messdaten zu Abbildung 30 „Wiederholte Bestimmungen verschiedener Proben auf allen Prüfmustern“**

		Hafer				Gerste			
		WB31_A	WB31_B	LM3310_A	LM3310_B	WB31_A	WB31_B	LM3310_A	LM3310_B
Bestimmung 1		10,25 %	10,38 %	10,25 %	10,25 %	11,59 %	11,63 %	11,62 %	11,61 %
Bestimmung 2		10,29 %	10,36 %	10,28 %	10,25 %	11,64 %	11,63 %	11,59 %	11,63 %
Bestimmung 3		10,28 %	10,31 %	10,24 %	10,25 %	11,63 %	11,62 %	11,59 %	11,59 %
Bestimmung 4		10,32 %	10,30 %	10,27 %	10,25 %	11,61 %	11,60 %	11,57 %	11,61 %
Bestimmung 5		10,32 %	10,35 %	10,27 %	10,24 %	11,61 %	11,57 %	11,56 %	11,58 %
Mittlerer Feuchtwert je Prüfmuster		10,29 %	10,34 %	10,26 %	10,25 %	11,61 %	11,61 %	11,58 %	11,60 %
CD (je Prüfmuster)		0,07	0,08	0,04	0,01	0,05	0,06	0,06	0,06
Bewertung laborintern:		i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.
Mittelwert alle Prüfmuster		10,28 %				11,60 %			
CD (alle Prüfmuster)		0,15				0,09			
		Bewertung CD (alle Prüfmuster)				Bewertung CD (alle Prüfmuster)			
max. erlaubte CD (laborintern):	0,09	Nicht i.O.				i.O.			
max. erlaubte CD (laborextern)	0,51	i.O.				i.O.			
		Weizen				Mais			
		WB31_A	WB31_B	LM3310_A	LM3310_B	WB31_A	WB31_B	LM3310_A	LM3310_B
Bestimmung 1		11,91 %	11,94 %	11,95 %	11,95 %	13,80 %	13,77 %	13,78 %	
Bestimmung 2		11,92 %	11,96 %	11,92 %	11,91 %	13,86 %	13,86 %	13,77 %	
Bestimmung 3		11,93 %	11,98 %	11,92 %	11,92 %	13,77 %	13,87 %	13,87 %	
Bestimmung 4		11,91 %	11,97 %	11,93 %	11,92 %	13,80 %	13,82 %	13,86 %	
Bestimmung 5		11,92 %	11,93 %	11,97 %	11,90 %	13,82 %	13,82 %	13,74 %	
Mittlerer Feuchtwert je Prüfmuster		11,92 %	11,95 %	11,94 %	11,92 %	13,81 %	13,83 %	13,80 %	
CD (je Prüfmuster)		0,02	0,05	0,04	0,04	0,09	0,10	0,14	
Bewertung laborintern:		i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	
Mittelwert alle Prüfmuster		11,93 %				13,81 %			
CD (alle Prüfmuster)		0,08				0,14			
		Bewertung CD (alle Prüfmuster)				Bewertung CD (alle Prüfmuster)			
max. erlaubte CD (laborintern):	0,09	i.O.				Nicht i.O.			
max. erlaubte CD (laborextern)	0,51	i.O.				i.O.			

**Tabelle 12 - Messdaten zu Abschnitt 7: Mengenanteil aller Siebfractionen der LM3310-Mühlen**

	Weizen		Gerste		Roggen	
	LM3310_A	LM3310_B	LM3310_A	LM3310_B	LM3310_A	LM3310_B
<b>Korngröße</b>	<b>Anteil in %</b>					
größer gleich 1mm	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
kleiner 1 mm und größer gleich 0,75 mm	1,0 %	2,3 %	1,4 %	2,5 %	1,5 %	2,8 %
kleiner 0,75 mm und größer gleich 0,5 mm	8,7 %	25,3 %	12,5 %	35,8 %	12,2 %	27,0 %
kleiner 0,5 mm	90,3 %	72,4 %	86,1 %	61,7 %	86,3 %	70,2 %
	<b>Triticale</b>		<b>Hafer</b>		<b>Mais</b>	
	LM3310_A	LM3310_B	LM3310_A	LM3310_B	LM3310_A	LM3310_B
<b>Korngröße</b>	<b>Anteil in %</b>					
größer gleich 1mm	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,1 %	0,0 %
kleiner 1 mm und größer gleich 0,75 mm	0,9 %	1,4 %	15,8 %	22,1 %	0,3 %	1,0 %
kleiner 0,75 mm und größer gleich 0,5 mm	10,3 %	22,4 %	30,3 %	26,8 %	11,5 %	31,4 %
kleiner 0,5 mm	88,7 %	76,1 %	53,9 %	51,1 %	88,2 %	67,5 %

Anmerkung: Zur detaillierteren Betrachtung wurde ein zusätzliches Sieb mit einer lichten Weite von 0,75 mm verwendet.

**Tabelle 13 - Messdaten Abbildung 31 (Roggen)**

Proben-Nr. Roggen	LM3310_A	LM3310_A Messunsicherheit $U$ mit $k=2$	LM3310_B	LM3310_B Messunsicherheit $U$ mit $k=2$	Differenz LM3310_A zu LM3310_B	max. erlaubte CD (laborintern):
1	15,76 %	0,08	15,74 %	0,09	0,02 %	i.O.
2	15,72 %	0,08	15,72 %	0,08	0,00 %	i.O.
3	15,72 %	0,08	15,71 %	0,09	0,01 %	i.O.
4	15,73 %	0,08	15,74 %	0,09	-0,01 %	i.O.
5	15,70 %	0,08	15,77 %	0,08	-0,07 %	i.O.
6	15,66 %	0,11	15,64 %	0,09	0,02 %	i.O.
7	15,71 %	0,08	15,68 %	0,10	0,03 %	i.O.
8	15,73 %	0,10	15,72 %	0,09	0,01 %	i.O.
9	15,70 %	0,10	15,73 %	0,08	-0,03 %	i.O.
10	15,63 %	0,09	15,66 %	0,10	-0,03 %	i.O.
11	15,67 %	0,08	15,65 %	0,09	0,02 %	i.O.
12	15,65 %	0,08	15,67 %	0,08	-0,02 %	i.O.
13	15,66 %	0,09	15,65 %	0,11	0,01 %	i.O.
14	15,69 %	0,09	15,63 %	0,09	0,06 %	i.O.
15	15,92 %	0,08	15,95 %	0,09	-0,03 %	i.O.
16	15,92 %	0,09	15,99 %	0,12	-0,07 %	i.O.
17	15,90 %	0,09	15,96 %	0,08	-0,06 %	i.O.
18	15,97 %	0,10	16,05 %	0,10	-0,08 %	i.O.
19	15,98 %	0,08	15,96 %	0,10	0,02 %	i.O.
20	15,93 %	0,10	15,94 %	0,12	-0,01 %	i.O.
21	15,92 %	0,09	15,96 %	0,08	-0,04 %	i.O.
22	15,94 %	0,09	15,96 %	0,08	-0,02 %	i.O.
23	15,92 %	0,09	16,00 %	0,09	-0,08 %	i.O.
24	15,94 %	0,08	15,98 %	0,09	-0,04 %	i.O.
	Minimalwert $U$	<b>0,08</b>	Minimalwert $U$	<b>0,08</b>		mittlere Abweichung LM3310_A – LM3310_B
	Maximalwert $U$	<b>0,11</b>	Maximalwert $U$	<b>0,12</b>	<b>-0,02 %</b>	

**Tabelle 14 - Messdaten Abbildung 32 (Hafer)**

Proben-Nr. Hafer	LM3310_A	LM3310_A Messunsicherheit $U$ mit $k=2$	LM3310_B	LM3310_B Messunsicherheit $U$ mit $k=2$	Differenz LM3310_A zu LM3310_B	Bewertungskriterium max. erlaubte CD (laborintern):
1a	10,23 %	0,06	10,23 %	0,07	0,00 %	i.O.
1b	10,28 %	0,08	10,28 %	0,11	0,00 %	i.O.
1c	10,24 %	0,07	10,24 %	0,07	0,00 %	i.O.
1d	10,27 %	0,06	10,27 %	0,06	0,00 %	i.O.
1e	10,27 %	0,11	10,27 %	0,09	0,00 %	i.O.
2a	14,14 %	0,07	14,11 %	0,11	0,03 %	i.O.
2b	14,12 %	0,07	14,14 %	0,09	-0,02 %	i.O.
2c	14,05 %	0,10	14,07 %	0,09	-0,02 %	i.O.
2d	13,99 %	0,06	14,05 %	0,09	-0,06 %	i.O.
2e	14,03 %	0,06	14,11 %	0,12	-0,08 %	i.O.
	Minimalwert $U$	0,06	Minimalwert $U$	0,06	<b>-0,02 %</b>	mittlere Abweichung LM3310_A – LM3310_B
	Maximalwert $U$	0,11	Maximalwert $U$	0,12		

**Tabelle 15 - Messdaten zu Abbildung 33 (Gerste)**

Proben-Nr. Gerste	LM3310_A	LM3310_A Messunsicherheit $U$ mit $k=2$	LM3310_B	LM3310_B Messunsicherheit $U$ mit $k=2$	Differenz LM3310_A zu LM3310_B	Bewertungskriterium max. erlaubte CD (laborintern):
1a	11,61 %	0,07	11,61 %	0,07	0,00 %	i.O.
1b	11,59 %	0,06	11,59 %	0,06	0,00 %	i.O.
1c	11,59 %	0,07	11,59 %	0,06	0,00 %	i.O.
1d	11,57 %	0,07	11,57 %	0,07	0,00 %	i.O.
1e	11,56 %	0,07	11,56 %	0,08	0,00 %	i.O.
2	12,85 %	0,07	12,85 %	0,06	0,00 %	i.O.
3	13,89 %	0,06	13,89 %	0,07	0,00 %	i.O.
4	11,95 %	0,07	11,95 %	0,09	0,00 %	i.O.
5	13,62 %	0,07	13,62 %	0,08	0,00 %	i.O.
6	13,40 %	0,06	13,40 %	0,11	0,00 %	i.O.
7	14,29 %	0,06	14,29 %	0,09	0,00 %	i.O.
8	14,18 %	0,06	14,18 %	0,09	0,00 %	i.O.
9	13,07 %	0,07	13,07 %	0,07	0,00 %	i.O.
10a	13,03 %	0,06	13,02 %	0,08	0,01 %	i.O.
10b	13,01 %	0,06	13,03 %	0,06	-0,02 %	i.O.
10c	13,00 %	0,06	13,00 %	0,06	0,00 %	i.O.
10d	13,02 %	0,06	13,02 %	0,07	0,00 %	i.O.
10e	13,05 %	0,08	13,03 %	0,06	0,02 %	i.O.
10f	13,03 %	0,07	13,01 %	0,06	0,02 %	i.O.
11g	13,01 %	0,06	13,00 %	0,08	0,01 %	i.O.
10h	13,03 %	0,08	13,02 %	0,07	0,01 %	i.O.
10i	13,01 %	0,10	13,01 %	0,08	0,00 %	i.O.
10j	13,01 %	0,08	13,02 %	0,07	-0,01 %	i.O.
11a	15,39 %	0,08	15,38 %	0,09	0,01 %	i.O.
11b	15,43 %	0,09	15,41 %	0,10	0,02 %	i.O.
11c	15,42 %	0,08	15,40 %	0,08	0,02 %	i.O.
11d	15,40 %	0,08	15,42 %	0,09	-0,02 %	i.O.
11e	15,45 %	0,09	15,45 %	0,08	0,00 %	i.O.
11f	15,46 %	0,09	15,42 %	0,08	0,04 %	i.O.
11g	15,49 %	0,09	15,42 %	0,08	0,07 %	i.O.
11h	15,48 %	0,09	15,44 %	0,08	0,04 %	i.O.
11i	15,50 %	0,08	15,45 %	0,09	0,05 %	i.O.
11j	15,49 %	0,09	15,48 %	0,09	0,01 %	i.O.
	Minimalwert $U$	<b>0,06</b>	Minimalwert $U$	<b>0,06</b>	<b>0,01 %</b>	mittlere Abweichung LM3310_A – LM3310_B
	Maximalwert $U$	<b>0,10</b>	Maximalwert $U$	<b>0,11</b>		

**Tabelle 16 - Messdaten zu Abbildung 34 (Weizen)**

Proben-Nr. Weizen	LM3310_A	LM3310_A Messunsicherheit $U$ mit $k=2$	LM3310_B	LM3310_B Messunsicherheit $U$ mit $k=2$	Differenz LM3310_A zu LM3310_B	Bewertungskriterium max. erlaubte CD (laborintern):
1a	11,95 %	0,07	11,95 %	0,06	0,00 %	i.O.
1b	11,95 %	0,07	11,91 %	0,09	0,04 %	i.O.
1c	11,92 %	0,10	11,92 %	0,07	0,00 %	i.O.
1d	11,92 %	0,06	11,92 %	0,06	0,00 %	i.O.
1e	11,93 %	0,07	11,88 %	0,07	0,05 %	i.O.
2	12,51 %	0,06	12,46 %	0,07	0,05 %	i.O.
3	15,04 %	0,09	14,98 %	0,09	0,06 %	i.O.
4	12,87 %	0,06	12,83 %	0,08	0,04 %	i.O.
5	14,02 %	0,09	14,02 %	0,08	0,00 %	i.O.
6	11,85 %	0,06	11,78 %	0,08	0,07 %	i.O.
7	13,26 %	0,07	13,21 %	0,07	0,05 %	i.O.
8	12,70 %	0,06	12,70 %	0,06	0,00 %	i.O.
9	12,47 %	0,06	12,44 %	0,07	0,03 %	i.O.
10a	11,57 %	0,06	11,59 %	0,06	-0,02 %	i.O.
10b	11,62 %	0,07	11,61 %	0,06	0,01 %	i.O.
10c	11,63 %	0,07	11,56 %	0,06	0,07 %	i.O.
10d	11,65 %	0,06	11,61 %	0,10	0,04 %	i.O.
10e	11,65 %	0,06	11,62 %	0,06	0,03 %	i.O.
10f	11,64 %	0,06	11,62 %	0,08	0,02 %	i.O.
11g	11,63 %	0,06	11,59 %	0,06	0,04 %	i.O.
10h	11,63 %	0,07	11,61 %	0,07	0,02 %	i.O.
10i	11,59 %	0,06	11,57 %	0,06	0,02 %	i.O.
10j	11,61 %	0,06	11,59 %	0,06	0,02 %	i.O.
11a	15,58 %	0,08	15,60 %	0,09	-0,02 %	i.O.
11b	15,58 %	0,09	15,59 %	0,09	-0,01 %	i.O.
11c	15,59 %	0,09	15,59 %	0,10	0,00 %	i.O.
11d	15,58 %	0,09	15,61 %	0,09	-0,03 %	i.O.
11e	15,57 %	0,08	15,62 %	0,09	-0,05 %	i.O.
11f	15,57 %	0,09	15,59 %	0,09	-0,02 %	i.O.
11g	15,56 %	0,09	15,58 %	0,08	-0,02 %	i.O.
11h	15,56 %	0,09	15,57 %	0,08	-0,01 %	i.O.
11i	15,56 %	0,09	15,65 %	0,09	-0,09 %	i.O.
11j	15,59 %	0,09	15,60 %	0,09	-0,01 %	i.O.
11k	15,56 %	0,08	15,58 %	0,08	-0,02 %	i.O.
11l	15,57 %	0,09	15,57 %	0,09	0,00 %	i.O.
11m	15,59 %	0,08	15,60 %	0,08	-0,01 %	i.O.
11n	15,59 %	0,09	15,64 %	0,09	-0,05 %	i.O.
11o	15,58 %	0,08	15,64 %	0,09	-0,06 %	i.O.
11p	15,61 %	0,09	15,65 %	0,08	-0,04 %	i.O.
11q	15,61 %	0,09	15,62 %	0,08	-0,01 %	i.O.
11r	15,60 %	0,10	15,65 %	0,08	-0,05 %	i.O.
11s	15,57 %	0,08	15,64 %	0,08	-0,07 %	i.O.
11t	15,60 %	0,08	15,62 %	0,09	-0,02 %	i.O.
	Minimalwert $U$	<b>0,06</b>	Minimalwert $U$	<b>0,06</b>	<b>0,00 %</b>	mittlere Abweichung LM3310_A – LM3310_B
	Maximalwert $U$	<b>0,10</b>	Maximalwert $U$	<b>0,10</b>		





Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt,  
das nationale Metrologieinstitut, ist eine  
wissenschaftlich-technische Bundesoberbehörde  
im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für  
Wirtschaft und Energie.



Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Nationales Metrologieinstitut  
ISNI: 0000 0001 2186 1887

Bundesallee 100  
38116 Braunschweig

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Telefon: (0531) 592-93 21  
Fax: (0531) 592-30 08  
E-Mail: [presse@ptb.de](mailto:presse@ptb.de)  
[www.ptb.de](http://www.ptb.de)