



Messgenauigkeit der hygrometrischen Feuchtebestimmung von Baustoffen nach der KRL- Methode

Erstellt von der Technischen Kommission Bauklebstoffe (TKB) im
Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf

Zusammenfassung

Die Beurteilung der Belegreife eines Untergrundes kann nur so sicher sein, wie die Genauigkeit des angewendeten Messverfahrens. Mit dem KRL-Messbecher erreicht die KRL-Methode eine Genauigkeit, die mit der üblichen Gerätegenauigkeit von ca. 2,5 % identisch ist. Damit ist KRL, sofern der KRL-Messbecher eingesetzt wird, sowohl der Darr- wie auch der CM-Methode, die nur ca. 10 % erreichen, deutlich überlegen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
2. Durchführung der Untersuchungen	3
2.1 Untersuchungsergebnisse	4
3. Diskussion	7

1. Einleitung

Feuchteschäden an Gebäuden gehören leider immer noch zum Baualltag. Um sie zu vermeiden oder zumindest zu reduzieren, ist eine zuverlässige Messung des Feuchtezustands von Baustoffen oder Gebäudeteilen unerlässlich. Für eine Vielzahl unterschiedlicher Anwendungen kommt dabei das Messprinzip der Ermittlung der relativen Luftfeuchtigkeit zum Einsatz.

Seit etwa 2010 wird von der Technischen Kommission Bauklebstoffe (TKB) im Industrieverband Klebstoffe e. V. die hygrometrische Bestimmung des Feuchtezustands von mineralisch gebundenen Estrichen intensiv untersucht. In der praktischen Ausführung wird dabei wie bei der CM-Messung¹ Material aus dem Estrich als Stemmprobe entnommen. Anschließend wird in einem geeigneten Gefäß die relative Luftfeuchte nach Erreichen des Gleichgewichts als korrespondierende relative Luftfeuchte (KRL) bestimmt. Die hierbei erzielten Ergebnisse wurden in mehreren TKB-Berichten^{2,3,4,5,6} publiziert. In den Jahren 2017 bis 2019 wurde ein umfangreicher praxisnaher Ringversuch durchgeführt, der die bis dahin theoretisch bzw. durch Laborversuche gewonnenen Erkenntnisse auch durch die Baupraxis bestätigt⁷. Als Folge daraus wurde die Durchführung der hygrometrischen Feuchtemessung zur Bestimmung der korrespondierenden relativen Luftfeuchte an mineralisch gebundenen Estrichen als sog. "KRL-Methode" im TKB-Merkblatt 18⁸ mit den zugehörigen Feuchtegrenzwerten publiziert. Die Vorteile der KRL-Methode sind insbesondere:

- Die Methode ist theoretisch fundiert und verstanden,
- das Messverfahren ist materialunabhängig und damit sind die Feuchtegrenzwerte für alle Materialien gleich und
- der Umgang mit Gefahrstoffen entfällt.

¹ Im deutschen Sprachraum ist die Feuchtemessung nach der CM-Methode die seit mehreren Jahrzehnten etablierte Methode, um den Feuchtezustand von mineralisch gebundenen Estrichen zu beurteilen. Bei der CM-Messung wird eine Materialprobe aus dem Estrich gestemmt, eine definierte Menge davon mit Calciumcarbid in einer Druckflasche zur Reaktion gebracht und über den Druckanstieg auf den Feuchtegehalt in der Materialprobe zurückgeschlossen. Wesentliche Nachteile dieser Feuchtemessmethode sind allerdings:

- Eine theoretische Herleitung für die Beurteilung der Messergebnisse fehlt, daher mussten Grenzwerte auch immer wieder ad hoc angepasst werden
- Estriche aus unterschiedlichen Materialien weisen unterschiedliche Feuchtegrenzwerte auf,
- die unbekannte Messgenauigkeit für dieses Verfahren und
- der Umgang mit dem Gefahrstoff Calciumcarbid.

² TKB-Bericht 1: Belegreife und Feuchte - Versuche zur Trocknung von Estrichen, Technische Kommission Bauklebstoffe im Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf, 2012.

³ TKB-Bericht 2: Belegreife und Feuchte – Die KRL-Methode zur Bestimmung der Feuchte in Estrichen; Technische Kommission Bauklebstoffe im Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf, 2013.

⁴ TKB-Bericht 3: Belegreife und Feuchte – Geeignete Messgeräte zur Feuchtebestimmung nach der KRL-Methode; Technische Kommission Bauklebstoffe im Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf, 2016, Ergänzt 2019

⁵ TKB-Bericht 4: Belegreife und Feuchte – Sorptionsisothermen und die Interpretation von KRL-Messungen; Technische Kommission Bauklebstoffe im Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf, 2018.

⁶ TKB-Bericht 5: Belegreife und Feuchte – Ein Ringversuch zur Feuchtemessung mit der KRL-Methode; Technische Kommission Bauklebstoffe im Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf, 2020.

⁷ Siehe 6.

⁸ TKB-Merkblatt 18, KRL-Methode – Messung und Beurteilung der Feuchte von mineralischen Estrichen, Stand 2021-02, Erstellt von der Technischen Kommission Bauklebstoffe (TKB) im Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf, Download über:

https://www.klebstoffe.com/wp-content/uploads/2021/03/TKB-18-KRL-Methode-2021_02_12.pdf

Erstaunlicherweise sind bisher kaum Daten zur Genauigkeit der seit Jahrzehnten etablierten CM-Messung vorhanden. Laut Erning⁹ muss mit einem Messfehler von 0,2 CM-% (= 10 %) innerhalb eines Labors gerechnet werden. Im Rahmen eines innerhalb der TKB durchgeführten Ringversuchs¹⁰ wurde der mögliche Messfehler im Bereich der Belegreifgrenzwerte auf ca. +/- 20 % (aber bei geringer Einwaage von 20 g) bei mehreren unabhängigen Laboren¹¹ abgeschätzt. Eine weitere „optische Abschätzung“ erfolgte im Rahmen des TKB-Berichts 5¹², mit Werten von +/- 15 % für Darr- und CM-Werte nahe des Belegreifgrenzwertes. Umfangreiche Vergleichsuntersuchungen für die CM-Messung über mehrere Labore gibt es seit mehr als 50 Jahren Anwendung nicht.

Insgesamt gibt es also zur Messgenauigkeit von Feuchtemessmethoden bisher nur mehr oder minder grobe Schätzungen, nach der die Messgenauigkeit von CM- und KRL-Methode in etwa ähnlich sein sollte¹³.

Im Rahmen der Weiterentwicklung der KRL-Methode wurde 2019 ein spezieller Messbecher als Hilfsmittel zur Durchführung der Feuchtebestimmung nach der KRL-Methode vorgestellt¹⁴. Mit dessen Hilfe sollten zum einen die Durchführung der Messung vereinfacht und gleichzeitig die Messgenauigkeit erhöht werden. Dieser Becher wird mittels 3D-Druck hergestellt, die zugehörigen Druckdaten sind publiziert und frei verfügbar. Um zu prüfen, ob der Messbecher tatsächlich die erwünschten Verbesserungen bringt, wurden mit ihm Feuchtemessungen im Vergleich zu den bisher benutzten Messbehältnissen durchgeführt. Im zweiten Schritt wurden vergleichende Feuchtemessungen zur Bestimmung der Messgenauigkeiten bei der Feuchtemessung nach der CM- und der KRL-Methode innerhalb eines Labors durchgeführt.

Die Feuchtemessung nach der KRL-Methode kann prinzipiell auf alle Baustoffe übertragen werden. Damit ist

sie potenziell auch über die Anwendung bei mineralischen Estrichen hinaus einsetzbar. Die an Zementestrichen erhaltenen Ergebnisse werden daher nachfolgend einer breiteren Fachöffentlichkeit vorgestellt.

2. Durchführung der Untersuchungen

Die Untersuchungen bestanden aus zwei Messkampagnen. In der ersten Messkampagne wurde der Trocknungsverlauf von zwei Zementestrichmörteln untersucht. Die Estrichmörtel unterschieden sich nur in der Art des verwendeten Zusatzmittels und dem damit verbundenen unterschiedlichen w/z-Wert. Ermittelt wurden der Feuchtegehalt über KRL-Messungen nach TKB-Merkblatt 18 in drei unterschiedlichen Messbehältnissen (PE-Beutel, Stahlflasche und KRL-Messbecher). Zudem wurde in einer Stahlflasche der KRL-Wert mit einer Probemenge von 50 g ermittelt. Direkt daran anschließend wurde an diesem Probematerial eine CM-Messung nach DIN 18560-1¹⁵ durchgeführt.

In der zweiten Messkampagne wurde der Trocknungsverlauf von drei Zementestrichmörteln, die sich ebenfalls nur in der Art des verwendeten Zusatzmittels und dem damit verbundenen unterschiedlichen w/z-Wert unterschieden, mittels KRL-Methode mit dem KRL-Messbecher und CM-Messung nach DIN 18560-1 bestimmt.

Die Estrichmörtel wurden aus Estrichsand und Zement (CEM I 42,5 N) im Mischungsverhältnis 1 : 6 im Zwangsmischer hergestellt und alle über das Zugabewasser auf gleiche Konsistenz eingestellt. Danach wurden die Estrichmörtel in einer Dicke von 5 cm in Kunststoffschalen eingebracht und in einem abgeschlossenen Raum gelagert. Die Zusammensetzungen sowie die Trocknungs- und Messbedingungen der verschiedenen untersuchten Estrichmörtel sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

⁹ O. Erning, W. Limp, So messen sie die Restfeuchte – CM-Messung, veröffentlicht in – Fliesen und Platten – (Heft 8/August 2007), Download am 2021-04-29 von:

<https://www.ibf-troisdorf.de/files/SosmessensSiesdiesFeuchtesrichtig.pdf>, dort Seite 3: „Grundsätzlich kann auch bei sorgfältiger Ausführung der Messwert einer CM-Messung um etwa ± 0,2 CM-Prozent abweichen.“

¹⁰ TKB Bericht 1, dort im Kapitel 4.1: „Einige der hier vorgestellten Messdaten sind anfällig für zufällige und systematische Fehler; ein früherer TKB-Ringversuch ergab bei der CM-Messung an Zementestrichen mit 20 g Einwaage im Bereich zwischen 4 und 2 CM-% Standardabweichungen der Einzelwerte um 0,5 CM-%, die relative Standardabweichung war gerade im kritischen, trockenen Bereich um 2 CM-% mit +/- 25 % relativ groß. Ähnliches gilt für Darrwerte und korr. rel. Luftfeuchten, für die Darrwerte wurden im genannten Ringversuch im Bereich 5 bis 3 Darr-% Standardabweichungen von 0,3 bis 0,4 Darr-%, für die rel. Luftfeuchte im Bereich 98 bis 70 % rel. Luftfeuchte Standardabweichungen um 5 % rel. Luftfeuchte gefunden.“

¹¹ Einzelne Labore neigen zu unterschiedlichen systematischen Fehlern. Daher unterscheiden sich die Messergebnisse verschiedener Labore häufig. Während beispielsweise der Reproduzierbarkeit innerhalb eines Labors bei 10 % liegt, kann der mit mehreren Laboren festgestellt Mittelwert durchaus um deutlich mehr als 10 % abweichen.

¹² Siehe Fußnote 6. Dort Seite 7 oben und Seite 18

¹³ Fragen und Antworten der TKB zur KRL-Methode, Stand 2020, Technische Kommission Bauklebstoffe im Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf, Download: https://www.klebstoffe.com/wp-content/uploads/2020/04/Fragen_und_Antworten_der_TKB_zur_KRL-Methode.pdf

sowie

TKB Bericht 5 (siehe Fußnote 6), Fassung von 2020, dort in der Zusammenfassung

¹⁴ TKB-Bericht 6, Belegreife und Feuchte – Vorschlag für einen „KRL-Messbecher“, Stand 2020-02, Technische Kommission Bauklebstoffe im Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf, Download: <https://www.klebstoffe.com/wp-content/uploads/2021/03/B-TKB-06-KRL-Messbecher-05032021-Veroeffentlichung.pdf>.

Weitere Daten unter:

<https://www.klebstoffe.com/informationen/merkmaleetter/>

¹⁵ DIN 18560-1:2021-02, Estriche im Bauwesen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Prüfung und Ausführung

Zur Feuchteprüfung wurde jeweils eine Schale am jeweiligen Messtag ausgelagert. Am Estrichmörtel dieser Schale wurden dann die unterschiedlichen Feuchtemessungen durchgeführt.

Die Feuchtemessungen wurden 6 Tage (Messreihe 2) bzw. 4 Tage (alle anderen Messreihen) nach Herstellung der Estrichmörtel qualitativ gestartet, nach dem 5 Tag wurde quantitativ mit kalibrierten Instrumenten werktäglich im Zeitraum 8 bis 10 h gemessen. Die Werte lagen dabei um die Grenzwerte für die Belegreife herum. Die Daten wurden entsprechend den üblichen Regeln abgelesen (KRL: 30 min, CM: „10 min mit Schütteln“, Darren: Gewichtskonstanz). Für einige KRL-Messungen wurden beim Messbecher Werte nach 10, 30 und 60 min notiert. Dabei konnte bestätigt werden, dass von 10 auf 30 min im Mittel noch ein Anstieg von absolut 0,6 % rLF, von 30 auf 60 min aber keine signifikante Änderung (< 0,1 % rLF) zu beobachten war. Dies stimmt mit Beobachtungen an sorgfältigen Messungen im Beutel überein.

Die Auswertung erfolgte wie folgt:

Innerhalb des Betrachtungszeitraums trocknen die Estriche nahezu linear. Für jede Messreihe wurde eine Lineare Regression (Methode der kleinsten Quadrate) gerechnet, mit dem Zeitpunkt als x-Wert und den Feuchtwerten als y-Wert.

Von dem Feuchtemesswert wurde dann der auf der Ausgleichsgeraden liegende Wert bei gleichem Zeitwert subtrahiert und damit die Residuen bestimmt. Für die Residuen wurde die Standardabweichung berechnet, dies gibt Auskunft über den Fehler der einzelnen Feuchtemessmethoden. Für die Berechnung der relativen Standardabweichung wird als Bezugspunkt der Mittelwert der Messreihe verwendet, bspw. Tabelle EZM1a, CM-Messung Mittelwert 1,66, Standardabweichung der Residuen 0,25; relative Standardabweichung $0,25/1,66 = 0,15$. Bei der linearen Regression ist der erste Wert m die Steigung, der zweite Wert a der Achsenabschnitt.

Tabelle 1

Zusammensetzungen sowie die Trocknungs- und Messbedingungen der verschiedenen untersuchten Estrichmörtel

Messreihe	Sieblinie	EZM	w/z-Wert	Lagerklima	Mess-temperatur
1	etwa B8	A	0,61	20 °C 48 % r.F.	21 – 26 °C
2	etwa B8	B	0,65	20 °C 48 % r.F.	21 – 26 °C
3	A/B8	A	0,53	17 °C 45 % r.F.	20 °C
4	A/B8	C	0,55	17 °C 45 % r.F.	20 °C

2.1 Untersuchungsergebnisse

Es wurden Messungen an 5 Messreihen von Estrichen durchgeführt.

Messreihe 1

Messtag	CM-Messung	Residuen	KRL-Becher	Residuen	KRL-Beutel	Residuen	CM-Flasche, 50 g	Residuen	CM-Flasche, 150 g	Residuen
	CM-%	CM-%	% r. F.	% r. F.	% r. F.	% r. F.	% r. F.	% r. F.	% r. F.	% r. F.
8	1,53	0,44	87,8	-3,1	84,6	-1,6	81,6	6,8	98,4	-7,5
9	2,14	-0,23	80,7	3,1	80,8	1,8	90,0	-2,9	85,7	3,4
10	2,04	-0,19	83,0	0,0	78,2	3,9	88,1	-2,4	87,3	0,0
11	1,82	-0,02	81,8	0,4	84,3	-2,6	86,2	-1,8	86,8	-1,2
12	1,91	-0,17	82,1	-0,7	83,0	-1,7	86,2	-3,1	76,8	7,0
15	1,66	-0,08	77,3	1,7	81,2	-1,2	77,1	2,0	75,0	3,5
16	1,31	0,21	79,2	-1,0	78,9	0,6	76,0	1,8	76,4	0,4
17	1,2	0,27	76,4	0,9	80,2	-1,1	76,4	0,1	78,7	-3,7
18	1,74	-0,33	77,7	-1,2	75,9	2,8	76,4	-1,3	71,7	1,5
19	1,25	0,10	75,9	-0,2	79,0	-0,8	73,0	0,8	74,9	-3,4
Mittelwert	1,66	0,00	80,2	0,0	80,6	0,0	81,1	0,0	81,2	0,0
Standardabweichung		0,25		1,72		2,17		3,03		4,21
relative Standardabweichung		0,15		0,02		0,03		0,04		0,05
Lineare Regression (m, a)	-0,056	2,411	-0,812	91,156	-0,435	86,488	-1,324	98,967	-1,762	104,954
Standardabweichung (m, a)	0,022	0,307	0,153	2,141	0,193	2,700	0,269	3,775	0,374	5,242

Messreihe 2

Messtag	CM-Messung	Residuen	KRL-Becher	Residuen	KRL-Beutel	Residuen	CM-Flasche, 50 g	Residuen	CM-Flasche, 150 g	Residuen
	CM-%	CM-%	% r. F.	% r. F.	% r. F.	% r. F.	% r. F.	% r. F.	% r. F.	% r. F.
6	84,7	0,5	86,6	-0,7	79,0	4,9	85,4	1,4	2,05	0,16
7	86,1	-1,2	86,1	-0,7	87,0	-3,3	92,0	-5,7	2,23	-0,04
8	84,9	-0,4	86,5	-1,6	87,3	-3,9	87,7	-1,9	2,30	-0,12
9	85,8	-1,6	84,6	-0,2	80,4	2,8	83,5	1,8	2,22	-0,06
10	78,4	5,5	83,4	0,5	81,5	1,4	79,6	5,2	1,87	0,28
13	81,9	1,0	83,3	-1,0	81,8	0,4	83,7	-0,4	2,31	-0,21
14	82,4	0,2	78,8	3,0	82,1	-0,2	80,5	2,3	2,08	0,01
15	84,4	-2,1	71,1	10,2	82,4	-0,7	77,5	4,8	2,18	-0,11
16	80,5	1,4	77,3	3,5	81,2	0,2	79,6	2,2	2,13	-0,07
20	74,8	5,8	78,8	0,0	74,4	6,0	77,4	2,4	1,81	0,19
Mittelwert	82,13	0,00	81,10	0,00	82,01	0,00	82,39	0,00	2,126	0,00
Standardabweichung		2,48		3,16		3,03		2,84		0,16
relative Standardabweichung		0,03		0,04		0,04		0,03		0,073
Lineare Regression (m, a)	-0,585	89,294	-0,869	91,908	-0,467	87,223	-0,832	92,505	-0,015	2,298
Standardabweichung (m, a)	0,194	2,442	0,248	3,108	0,237	2,977	0,222	2,791	0,012	0,152

Messreihe 3

Messtag	KRL-Becher	Residuen	CM-Messung	Residuen	RH-Sensor, 2 cm	Residuen
	% r. F.	% r. F.	CM-%	CM-%	% r. F.	% r. F.
8	85,1	0,9	2,28	0,06	87,0	-0,1
9	86,6	-1,4	2,33	-0,03	86,0	0,1
10	85,4	-1,0	2,31	-0,06	85,0	0,2
11	81,8	1,8	1,99	0,22	84,0	0,3
12	83,1	-0,3	2,31	-0,14	84,0	-0,5
15	79,4	0,9	2,17	-0,14	81,0	-0,1
16	81,4	-1,9	2,11	-0,12	80,0	0,1
17	76,5	2,2	1,81	0,13	79,0	0,2
18	79,3	-1,4	1,88	0,02	79,0	-0,7
19	76,8	0,3	1,79	0,06	77,0	0,5
Mittelwert	81,54	0,00	2,098	0,00	82,20	0,00
Standardabweichung		1,43		0,12		0,36
relative Standardabweichung		0,02		0,06		0,00
Lineare Regression (m, a)	-0,815	92,548	-0,045	2,702	-0,856	93,758
Standardabweichung (m, a)	0,127	1,781	0,011	0,152	0,032	0,445

Messreihe 4

Messtag	KRL-Becher	Residuen	CM-Messung	Residuen
	% r. F.	% r. F.	CM-%	CM-%
8	85,9	2,1	2,67	-0,13
9	87,2	0,0	2,41	0,09
10	86,5	-0,2	2,47	-0,02
11	86,4	-0,9	2,35	0,06
12	86,2	-1,6	2,33	0,03
15	83,9	-1,8	2,34	-0,11
16	82,0	-0,7	2,21	-0,02
17	77,7	2,7	1,83	0,31
18	78,2	1,4	2,19	-0,09
19	79,7	-1,0	2,17	-0,12
Mittelwert	83,4	0,0	2,297	0,00
Standardabweichung		1,55		0,13
relative Standardabweichung		0,02		0,06
Lineare Regression (m, a)	-0,841	94,724	-0,044	2,895
Standardabweichung (m, a)	0,138	1,937	0,012	0,167

Messreihe 5

Messtag	KRL-Becher	Residuen	CM-Messung	Residuen
	% r. F.	% r. F.	CM-%	CM-%
8	82,0	2,300	2,56	-0,340
9	86,0	-2,202	2,41	-0,218
10	84,4	-1,104	1,87	0,294
11	80,2	2,594	1,85	0,286
12	84,1	-1,807	1,82	0,288
15	80,4	0,387	2,08	-0,056
16	82,5	-2,214	2,29	-0,294
17	77,7	2,084	1,93	0,038
18	79,8	-0,518	1,95	-0,010
19	78,3	0,480	1,90	0,012
Mittelwert	81,54	0,000	2,066	0,000
Standardabweichung		1,863		0,237
relative Standardabweichung		0,023		0,115
Lineare Regression (m, a)	-0,502	88,314	-0,028	2,445
Standardabweichung (m, a)	0,166	2,321	0,021	0,295

Standardabweichungen der einzelnen Messreihen

Estrich	CM-Messung		KRL-Becher		KRL-Beutel		CM-Flasche, 50 g		CM-Flasche, 150 g	
	absolut	relativ / %	absolut	relativ / %	absolut	relativ / %	absolut	relativ / %	absolut	relativ / %
EZM1a	0,25	14,85	1,7	2,14	2,17	2,69	3,03	3,74	4,21	5,18
EZM1b	0,12	5,81	1,4	1,75						
EZM2	0,16	7,30	2,5	3,03	3,2	3,9	3,0	3,7	2,8	3,4
EZM3	0,13	5,82	1,6	1,87						
EZM4	0,24	11,47	1,9	2,29						
Mittelwerte	0,18	9,05	1,81	2,21	2,67	3,29	3,03	3,72	3,52	4,32

3. Diskussion

Die Messgenauigkeit bei Feuchtemessungen hängt von einer ganzen Reihe von Parametern ab.

Die nachfolgende Übersicht enthält eine Abschätzung der Effekte.

Parameter	Wirksam bei		
	Darr-Messung	CM-Messung	KRL-Messung
Gerätegenauigkeit	10^{-6}	$10^{-3} \dots 10^{-2}$	10^{-2}
Probe (Probenahmeort*, Anteil Grobkorn zu Bindemittel, ...)	$10^{-2} \dots 10^{-1}$	$10^{-2} \dots 10^{-1}$	10^{-2} (Anteil Grobkorn hat keinen Einfluss)
Messverfahren (Schütteln), „Gewichtskonstanz“, „Laboreffekte“	10^{-2}	10^{-2}	Je nach Gefäß, optimal beim KRL-Becher
Nebeneffekte (Temperatur, Abkühlen)	Systematische Fehler	10^{-2}	Systematische Fehler Keine beim KRL-Becher
Zusammengefasst	$10^{-2} \dots 10^{-1}$	$10^{-2} \dots 10^{-1}$	10^{-2}

* Querschnitt, Oben, Unten, Mitte, ...

Während die Genauigkeit der Darr- und CM-Messung im Wesentlichen durch die Probe limitiert werden, spielt dieses bei der KRL-Messung so gut wie keine Rolle. Dort ist der wesentliche limitierende Faktor tatsächlich die Gerätegenauigkeit, insbesondere wenn der KRL-Becher verwendet wird.

Dies wird durch die oben ermittelten Standardabweichungen bestätigt.

Während für die CM-Messung in sehr guter Übereinstimmung mit der Literatur¹⁶ eine absolute Standardabweichung von ca. 0,2 CM-% ($\sim 10^{-1} = 10\%$ in Bereich der Belegreife von 2 CM-%) gefunden wurde, findet man bei den KRL-Messungen eine absolute Standardabweichung von 2 bis 5 % r.LF. Die niedrigste Standardabweichung von 2 % r.LF ($\sim 2 \cdot 10^{-2}$ r.LF) wird dabei für Messungen im KRL-Becher ermittelt. Der Grund dafür ist die offensichtliche Vermeidung systematischer Fehler, z. B. Änderung bei der Prüftemperatur, Sensor zu weit vom Prüfgut entfernt, unsauberes Gerät (CM-Flasche, die nicht komplett gereinigt wurde, ...) bei der Messung. Der relative Fehler bei der KRL-Messung im Becher ist daher in guter Näherung gleich der Messgerätegenauigkeit, diese liegt für übliche Geräte im Bereich 2,5 %, was auch hier bestätigt wurde. Bei der Diskussion um Belegreif-Grenzwerte wird in Hinblick auf die Genauigkeit der CM-Methode immer wieder darauf hingewiesen, dass die Belegreifgrenzwerte diese bekannten Ungenauigkeiten enthalten. Bei der „normalen“ KRL-Methode im Kunststoffbeutel ist dies ähnlich zu sehen, die Ungenauigkeit liegt dort bei ca. 5 % r.LF, da neben Gerätefehlern auch weitere Fehler auftreten können. Mit dem KRL-Becher sind die beim Beutel auftretenden zusätzlichen Fehler weitgehend minimiert und die Genauigkeit der Methode ist praktisch gleich der Gerätegenauigkeit. Fasst man die rel. Standardabweichungen aus den 5 Messreihen zusammen, so resultiert für die CM-Messung (9,0 %) eine um mehr als den Faktor 3 höhere rel. Standardabweichung, als für die KRL-Messung im Becher (2,2 %). Damit wird – bei gleichbleibendem Grenzwert – die Sicherheit der Belegreifbestimmung in mehrfacher Hinsicht im Verhältnis zur CM-Messung deutlich erhöht.

¹⁶ Siehe 5