

Belegreife und Feuchte

Geeignete Messgeräte zur Feuchtebestimmung nach der KRL-Methode

Stand: 1. Juli 2019
(Enthält Ergänzungen zu geeigneten Messgeräten)

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

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	2
2.	Methodik.....	2
2.1	Kriterien für die Beurteilung der Messgeräte	2
2.2	Messungen und Versuchsaufbauten	2
2.2.1	Luftfeuchtestandards.....	3
2.2.1.1	Klimakammer	3
2.2.1.2	Salzlösungen.....	3
2.3	Messung in einer Klimakammer	3
2.4	Bestäubungsapparatur	4
3.	Untersuchte Messgeräte	4
4.	Ergebnisse	4
5.	Anhang Daten der Geräte	6
6.	Ergänzungen 1. Juli 2019	7

1. Einleitung

Die Feuchte von Unterböden ist ein wichtiges Kriterium für die sogenannte Belegreife, der Zustand, in dem der Unterboden mit Bodenbelägen oder Parkett belegt werden kann.

Im deutschsprachigen Raum wird der Feuchtezustand fast ausschließlich über die Größe „Wassergehalt in Darr-%“ bzw. „Wassergehalt in CM-%“ beschrieben. Außerhalb des deutschsprachigen Raumes wird der Feuchtezustand sehr häufig über die Größe „korrespondierende relative Luftfeuchte“ beschrieben. Die Beschreibung über diese Größe hat dabei den Vorteil, dass sie unabhängig von der Zusammensetzung eines Stoffes (Holz, Beton, Zementestrich, Calciumsulfatestrich, ...) ist und einfache Aussagen über einen Gleichgewichtszustand macht bzw. bei Vorliegen eines Nichtgleichgewichts unmittelbar erkennen lässt, in welche Richtung eine Veränderung stattfinden wird (von hoher Luftfeuchte zu niedriger Luftfeuchte).

2013 hat die TKB mit ihrem Bericht 2 „Die KRL-Methode zur Bestimmung der Feuchte in Estrichen“¹ sowohl eine Methode wie auch einen vorläufigen Richtwert zur Beurteilung des Feuchtezustandes von Estrichen vorgeschlagen. Dieser Bericht wurde in der Branche diskutiert². Insbesondere wurde in Frage gestellt, dass grundsätzlich alle Feuchtemessgeräte für die KRL-Messmethode geeignet, bzw. auch „baustellengeeignet“ wären und hinreichend genau messen könnten.

Die TKB hat diese Kritik aufgenommen und einen Auftrag an die Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Baustoffe, Bauphysik und Bauchemie, Prof. Dr.-Ing. Frank Schmidt-Döhl erteilt, diese Fragen zu untersuchen.

Dieser Bericht fasst die Ergebnisse des Untersuchungsberichts³ des Instituts zusammen und gibt Empfehlungen für geeignete Messgeräte und macht Aussagen zur Genauigkeit dieser Instrumente. Der Bericht gibt Daten von allen untersuchten Geräten wieder, allerdings werden die Namen und Hersteller der nicht bevorzugten Geräte nicht genannt.

2. Methodik

2.1 Kriterien für die Beurteilung der Messgeräte

Zur Bewertung der Messgeräte wurden diese nach unmittelbar messbaren und „sonstigen“ Kriterien beurteilt.

Unmittelbar messbar waren dabei:

1. Genauigkeit nach 30 min
2. Genauigkeit nach 60 min
3. Drift über einen Zeitraum von 5 Wochen
4. Baustelleneignung, d. h. Messgenauigkeit nach intensivem Bestäuben mit Zement

Zu den sonstigen Kriterien gehörten die

5. Kosten
6. Bedienung/Software
7. Spezielle Eigenarten einzelner Geräte

Zeile	Kriterium	Faktor	Stufen des Kriteriums			
			++	+	0	-
1	Genauigkeit (30 min)	1,0	$s_i \leq 3 \%$	$s_i \leq 5 \%$	$\sum_i s_i \leq 15 \%$	$\sum_i s_i \leq 15 \%$
2	Genauigkeit (60 min)	1,0	$s_i \leq 3 \%$	$s_i \leq 5 \%$	$\sum_i s_i \leq 15 \%$	$\sum_i s_i \leq 15 \%$
3	Drift	1,0	$r_i \leq 0.1$	$r_i \leq 0.15$	$r_i \leq 0.2$	$r_i > 0.2$
4	Baustelleneignung	1,0	in Toleranz	-	-	außerhalb Toleranz
5	Kosten	1,0	bis 500 €	bis 1.000 €	bis 2.000 €	> 2.000 €
6	Bedienung / Software	1,0	individuelle Beurteilung			
7	Spezielles	1,0	individuelle Beurteilung			

Tabelle 1: Kriterien für die Bewertungsmatrix, s_i = Standardabweichungen der Messungen, r_i Steigung der Regressionsgraden über die Messzeit.

2.2 Messungen und Versuchsaufbauten

Zur Beurteilung der o.g. messbaren Kriterien wurden Luftfeuchtestandards und eine Bestäubungsapparatur gebraucht.

¹ TKB-Bericht 2, Belegreife und Feuchte, Die KRL-Methode zur Bestimmung der Feuchte in Estrichen; Stand: Juli 2013

² Sachverständigen-Tagung des ZVPF 2014

³ Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Baustoffe, Bauphysik und Bauchemie, Prof. Dr.-Ing. Frank Schmidt-Döhl / Untersuchungsbericht / Thema des Auftrags: Überprüfung von marktüblichen Feuchte- und

Temperaturmessgeräten zur Bestimmung der korrespondierenden Luftfeuchte für die Beurteilung der Belegreife von Estrichen / Auftraggeber: Technische Kommission Bauklebstoffe (TKB) im Industrieverband Klebstoffe (IVK) / Datum des Dokuments: 12. November 2015 / Dokumentennummer: 2014-143-A

2.2.1 Luftfeuchtestandards

Die Luftfeuchtestandards wurden mit Hilfe von Klimakammern und gesättigten Salzlösungen realisiert. Zur Gewährleistung eines Betriebs bei konstanter Temperatur wurden diese Klimakammern in einen klimatisierten Raum mit dem Sollklima

- Temperatur: 20 °C
- Rel. Luftfeuchte: 65 %

gelagert.

Für den konstanten Betrieb der Klimakammern war dabei insbesondere die Temperatur des Klimaraumes wichtig und diese wurde, da Störungen durch Türöffnungen und das Laborpersonal unvermeidbar sind, überprüft. Messungen über einen Zeitraum von 2 Wochen ergaben dabei Werte von 19,9 bis 20,5 °C. Damit sind die durch Temperaturschwankungen zu erwartenden Unterschiede in der relativen Luftfeuchte der Klimakammern deutlich kleiner als die Ungenauigkeit, mit der die Luftfeuchte über den Salzlösungen selbst bekannt ist⁴.

2.2.1.1 Klimakammer

Es wurden „kleinformige Klimakammern“ mit Abmessungen von 23,5 cm * 13,5 cm * 15 cm (L*B*H) entsprechend DIN EN ISO 483⁵ benutzt. Die bei diesen Abmessungen geforderte Mindestfüllhöhe von 1,5 cm mit gesättigter Salzlösung wurde in jedem Fall überschritten. Es wurde durch Messungen festgestellt, dass

- die Luftfeuchte in den Klimakammern bei verschiedenen Höhen über der Salzlösung konstant war.
- das kurzfristige (ca. 100 s) Öffnen der Kammern zum Einführen eines Sensors messbare Effekte von ca. 0,5 % rel. Luftfeuchte (NaCl und KNO₃-Lösungen) zeigte. Der ursprüngliche Wert stellte sich aber nach 1500 bis 1800 s (25 bis 30 min) wieder ein.



Bild 1: Klimakammer mit Salzlösung und Sensoren

⁴ Die in der DIN EN ISO 12571 genannten Daten basieren auf den dort zitierten Daten von Greenspan. Nur bei Greenspan findet man eine Erläuterung zu den Fehlern und analysierten Daten.

2.2.1.2 Salzlösungen

Da die Geräte zur Beurteilung von feuchten Estrichen benutzt werden sollen, wurde ihre Eignung messtechnisch nur im Bereich von 50 bis 98 % rel. Luftfeuchte untersucht. Für den Bereich wurden 4 Salzlösungen entsprechend der Norm DIN EN ISO 12571⁶ ausgesucht:

Salz	Gleichgewichtsfeuchte bei 20 °C
Mg(NO ₃) ₂	54,4 % ± 0,2 %
NaCl	75,5 % ± 0,1 %
KCl	85,1 % ± 0,3 %
KNO ₃	94,6 % ± 0,7 %

Tabelle 2: Gleichgewichtsfeuchten mit geschätzter Unsicherheit für die ausgewählten ges. Salzlösungen

2.3 Messung in einer Klimakammer

Wie oben erläutert wurde eine Messung durchgeführt, indem ein Sensor in die Klimakammer eingeführt, die Klimakammer abgedichtet und dann die entsprechenden Messwerte am Gerät digital abgelesen werden. Die Ansprechzeiten der Geräte lagen dabei im Bereich von einigen Sekunden bis zu ca. 1 Minute. Allerdings brauchte die Kammer selbst ca. 30 min, um wieder im Gleichgewicht zu sein.

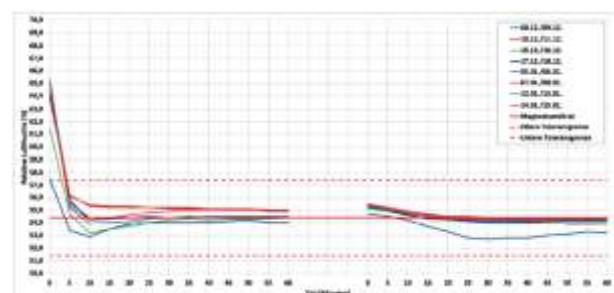


Bild 2: Typische Messkurven, direkt nach Einführen des Sensors und 24 h später

Zur Beurteilung der Messgenauigkeit der Geräte wurden daher Messungen jeweils nach 30 min und 60 min nach Einführen des Sensors durchgeführt. Die Messungen wurden über die Standardabweichungen des Einzelwertes in Relation zur bekannte Soll-Luftfeuchte verglichen, und indiziert damit den wahrscheinlichen mittleren systematischen Fehler (ohne Vorzeichen):

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (v_i - \bar{v})^2}$$

N = Anzahl der Messwerte

v_i = Messwert i

$\bar{v}$ = Gleichgewichtsfeuchte der jeweiligen Salzlösung

⁵ DIN EN ISO 483:2006-02: Kunststoffe - Kleine Kammern für die Konditionierung und Prüfung bei konstanter relativer Feuchte über wässrigen Lösungen, Februar 2006.

⁶ DIN EN ISO 12571:2013-12: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung der hygroscopischen Sorptionseigenschaften, Dezember 2013

Schätzwerte der Standardabweichung der Einzelwerte s_i in % rel. Feuchte für die einzelnen Geräte, Messdauer 30 min					
Gerät	jeweilige relative Feuchte in %				Σs_i
	54,4	75,5	85,1	94,6	
„Testo normal“	1,77	3,86	2,92	2,05	10,6
„Testo robust“	1,55	2,82	2,09	1,26	7,7
	0,84	-	-	3,52	n.e.
„Rotronic Hygropalm“	0,51	1,15	2,29	3,88	7,8
	2,76	4,79	2,78	2,66	13,0
	3,68	3,32	2,29	1,45	10,7
	4,19	7,49	7,98	2,39	22,1
	6,09	3,18	2,02	0,90	12,2
„Testo Wasseraktivität“	2,20	-	-	2,90	n.e.

Tabelle 3: Messabweichungen nach 30 min Wartezeit

Schätzwerte der Standardabweichung der Einzelwerte s_i in % rel. Feuchte für die einzelnen Geräte, Messdauer 30 min					
Gerät	jeweilige relative Feuchte in %				Σs_i
	54,4	75,5	85,1	94,6	
„Testo normal“	1,84	4,46	3,67	1,17	11,1
„Testo robust“	1,70	3,16	2,63	0,49	8,0
	0,83	-	-	3,06	n.e.
„Rotronic Hygropalm“	0,46	0,68	1,73	1,85	4,7
	2,72	5,13	3,39	1,70	12,9
	3,71	1,85	3,70	1,85	11,1
	4,34	8,28	8,91	1,32	22,9
	5,91	3,24	2,16	1,00	12,3
„Testo Wasseraktivität“	2,10	-	-	1,70	n.e.

Tabelle 4: Messabweichungen nach 60 min Wartezeit

Zur Beurteilung der Drift wurden über einen Zeitraum vom 5 Wochen mehrfach Messungen über verschiedenen Salzlösungen durchgeführt. Es sei hier schon angemerkt, dass alle Geräte in diesem Zeitraum keine signifikante Drift gezeigt haben.

Feuchtebereich	Testo				Ro-tronic		
	normal	robust					
54,40 %	0,0177	0,0020	-0,0110	0,0105	0,0078	0,0421	0,0783
94,60 %	0,0236	0,0024	0,0015	-0,0001	0,0061	0,0188	0,0299

Tabelle 5: Drift, Steigungen r_i der Ausgleichsgeraden

2.4 Bestäubungsapparatur

Zur Bestäubung wurden die Sensoren in einen Hohlraum bestehend aus 2 Acrylathalbkugeln (Durchmesser: 30 cm) und einem Verbindungszylinder (Durchmesser: 30 cm, Höhe ca. 15 cm) über abgedichtete Schraubkupplungen eingeführt. 10 g Zementstaub wurde mit Druckluftstößen verwirbelt und dann durch Ventilatoren und weiteren Druckstößen (alle 12 h) weiter in Bewegung gehalten. Nach 7 Tagen Betriebszeit wurden weitere 10 g Zement hinzugegeben. Die Bestäubung dauerte jeweils 13 Tage. Zur Beurteilung des Bestäubungseffektes wurden vorher und nachher Messungen über einer ges. NaCl-Lösung und nach 13 Tagen auch über einer ges. KNO₃-Lösung durchgeführt.



Bild 3: Blick in die geöffnete Bestäubungskammer mit eingeführten Sensoren

3. Untersuchte Messgeräte

Es wurden 9 Geräte von 5 Herstellern untersucht.

Alle Messgeräte sind handelsübliche Geräte, die dem Institut leihweise oder ohne Kosten von den Herstellern zur Verfügung gestellt worden sind. Zwei Geräte werden als Geräte zur Bestimmung der „Wasseraktivität“ bezeichnet. Thermodynamisch sind Wasseraktivität und korrespondierende relative Luftfeuchte identisch, die Wasseraktivität wird aber in der Regel absolut und nicht in Prozenten angegeben.

Ein Messgerät, das vorher von einem Hersteller einige Jahr als Vorführgerät benutzt worden war, zeigte zu Anfang starke Messabweichungen. Nach erneuter Kalibrierung durch den Hersteller lag auch dieses Gerät im üblichen Bereich.

Allen Hersteller wurde der Untersuchungsbericht zur Verfügung gestellt.

Die TKB weist ausdrücklich darauf hin, dass weitere Geräte gerne getestet werden. Positive Ergebnisse werden publiziert.

4. Ergebnisse

Zur Bewertung der Messgeräte wurden die in Kap. 2.1 und Tabelle 1 angeführten Kriterien herangezogen. Die einzelnen Kriterien wurden gleichrangig gewichtet und eine Bewertungszahl, die der Summe der Einzelbewertungen entspricht, berechnet. Die nachfolgende Tabelle fasst die Ergebnisse zusammen:

Gerät	Kriterium nach Tabelle 1 gem. Zeile							Bewertungs- zahl
	1	2	3	4	5	6	7	
„Testo normal“	+	+	++	++	+	+		8
„Testo robust“	++	++	++	++	0	+		9
	+	+	++	++	0	+	-	6
„Testo Wasser-aktivität“	++	++	++	++	0	+	-	8
„Rotronic Hygropalm“	+	++	++	++	+	+		9
	0	0	++	++	-	+	-	3
	+	0	++	++	++	-		6
	+	+	++	++	0	+	-	6
	-	-	++		++	+	-	2

Tabelle 6: Bewertung der Geräte

Besonders geeignet sind danach:

- Rotronic Hygropalm
- Testo Robust

Bei leicht anderer Wichtung der einzelnen Faktoren kann weiter

- Testo normal

empfohlen werden.

Das Gerät „Testo Wasseraktivität“ hat ebenfalls eine hohe Bewertungszahl, wobei allerdings aufgrund einer geringen zeitlichen Verfügbarkeit deutlich weniger Daten als bei anderen Geräten in die Bewertung eingegangen sind. Ferner ist es konstruktiv in der jetzigen Bauform nicht für die KRL-Methode geeignet, insbesondere auch wegen der geringen Einwaage. Möglicherweise wird der Hersteller dem aber in Zukunft abhelfen.

5. Anhang Daten der Geräte

Der nachfolgende Text und die Bilder sind dem Untersuchungsbericht sinngemäß entnommen.

Name	Messgerät „Testo robust“	Messgerät „Rotronic Hygropalm“	Messgerät „Testo normal“	Messgerät „Testo Wasseraktivität“
Kommentar	Das Mess- und Anzeigegerät von „Testo robust“ ist dasselbe wie das von „Testo normal“. Es besteht daher auch die Möglichkeit der manuellen und automatischen Messwertaufzeichnung. Als Fühler wird ein „robuster“, 30 cm langer Einstechfühler verwendet. Der Schutz des kapazitiv messenden Sensors erfolgt mit Hilfe eines PTFE-Sinterfilters. Bezüglich der Genauigkeit des Fühlers wird ein Wert von - 2,0 % r.F. angegeben. Daten der letzten Kalibrierung liegen allerdings nicht vor.	Das Messgerät „Rotronic Hygropalm“ besteht aus der Mess- und Anzeigeeinheit und einem Fühler. Es können unterschiedliche Fühler an die Mess- und Anzeigeeinheit angeschlossen werden, Messgerät und der hier verwendete Fühler „HC2-S“ sind über ein flexibles Kabel miteinander verbunden. Die Erfassung der relativen Luftfeuchte erfolgt mit einem kapazitiven Feuchte-sensor. Der Sensor wird durch einen Filter aus Polyethylen vor äußeren Einwirkungen geschützt. Die Genauigkeit des Fühlers wird vom Hersteller mit - 0,8 % r.F. angegeben. Dem Gerät und dem Fühler lag ein Kalibrierzertifikat jeweils aus dem Jahr 2014 bei. Beim Start des Gerätes beginnt sofort die Messung, die ermittelten Werte erscheinen unmittelbar in der digitalen Anzeige des Gerätes. Eine Speicherung von Messdaten ist manuell möglich.	Das Messgerät „Testo normal“ verfügt über ein Mess- und Anzeigegerät, an welches unterschiedliche Fühler angeschlossen werden können. In diesem Fall ist der Messfühler ein 15 cm langer Kunststoffstab, dessen Sensor durch einen PTFE-Sinterfilter vor äußeren Einwirkungen wie z. B. Staub geschützt wird. Das Messgerät verfügt über eine digitale Messwertanzeige, auf der die aktuellen Messwerte der Temperatur und relativen Luftfeuchte nach dem Einschalten des Gerätes sofort angezeigt werden. Die Speicherung der gemessenen Daten ist manuell und automatisch möglich. Bei der automatischen Datenaufzeichnung kann Messtakt und Anzahl der Messwerte beliebig eingestellt werden. Die Messgenauigkeit des Fühlers wird von der Firma Testo mit - 2,0 % r.F. angegeben. Es lagen allerdings keine Kalibrierprotokolle vor.	Die Messeinheit „Testo Wasseraktivität“ besteht ebenfalls aus einem Mess- und Anzeigegerät (baugleich mit dem Anzeigegerät Testo Normal) und einer verschließbaren Messkammer mit integriertem Messfühler. Ein Kniehebelmechanismus sorgt für einen sicheren Stand und ermöglicht in Verbindung mit der Gummidichtung eine ausreichend sichere Abdichtung der Messkammer. Angezeigt wird nicht die Wasseraktivität sondern die gemessene relative Feuchte in der Messkammer. Die gemessenen Werte der Temperatur und relative Luftfeuchte können manuell und automatisch gespeichert werden. Die Genauigkeit des Fühlers beträgt laut Hersteller 1,0 % r.F. Ein Schutz des Sensors, z. B. durch einen Staubfilter besteht nicht. Die vergleichsweise „kleine“ Messkammer ermöglicht eine Einwaage von nur circa 20 g zerkleinertem Estrichmörtel.
Abmessungen Gerät	220 x 74 x 46 mm	196 x 72 x 35 mm	220 x 74 x 46 mm	215 x 68 x 47 mm
Abmessungen Fühler	300 x 012 mm	85 x 015 mm	150 x 012 mm	30 x 060 mm
Gewicht	428 g	300 g	428 g	255 g
Stromversorgung	3 AA-Zellen	9 V Blockbatterie	3 AA-Zellen	9 V Blockbatterie
Schnittstelle	Infrarot; Mini-USB	Mini-USB	Infrarot; Mini-USB	RS232-Schnittstelle (PC)
Art des Sensors	kapazitiv	kapazitiv	kapazitiv	kapazitiv
Art des Filters	PTFE-Sinterfilter	Polyethylen	PTFE-Sinterfilter	kein Filter
Betriebsbedingungen	- 20 °C bis + 50 °C	- 10 °C bis + 60 °C	- 20 °C bis + 50 °C	keine Angaben
Messbereich Temp.	- 20 °C bis + 125 °C	- 50 °C bis + 100 °C	- 20 °C bis + 70 °C	- 20 °C bis + 70 °C
Genauigkeit	> 0,2 °C	> 0,1 °C	> 0,3 °C	> 0,4 °C
Messbereich Feuchte	0 % r.F. bis 100 % r.F.	0 % r.F. bis 100 % r.F.	0 % r.F. bis 100 % r.F.	0 % r.F. bis 100 % r.F.
Genauigkeit	2,0 % r.F.	0,8 % r.F.	> 2,0 % r.F.	> 1,0 % r.F.
Ansprechzeit	keine Angaben	< 20 Sek.	keine Angaben	keine Angabe
Kosten (ohne MwSt.)	400 € (Gerät); 619 € (Fühler); 42 € (Filter)	284 € (Gerät); 276 € (Fühler)	400 € (Gerät); 289 € (Fühler); 42 € (Filter)	699 € (Gerät); 1.199 € (aw-Wert-Set)
Kalibrierung Gerät	keine Angaben	27.06.2014	keine Angaben	22.10.2014
Kalibrierung Fühler	keine Angaben	+ 0,03 °C + 0,06 % r.F. (2014)	keine Angaben	keine Angaben
Bild				

6. Ergänzungen

1. Juli 2019

Tabelle 6 wird wie folgt ergänzt:

Stand März 2019		Kriterien							Summe*
	Jahr	1 30 Min	2 60 Min	3 Drift	4 Baustelle	5 Kosten	6 Bedienung	7 Spezielles	
Novosina mit elektrolytischem Fühler	2019	+	++	++	++	+	+		+9
Testo 635-1 mit robustem Fühler	2015/2019	++	+	++	++	+	+		+9
Rotronic HP23-A mit HC2A-S	2015/2019	+	++	++	++	+	+		+9
Gerät A	2015	+	+	++	++	0	+	-	+6
Gerät B	2015	0	0	++	++	0	+	-	+3
Gerät C	2015	+	0	++	++	++	-		+6
Gerät D	2015	+	+	++	++	0	+	-	+6
Gerät E	2015	-	-	++	n.e.	++	+	-	+2
Gerät F	2015/2019	wird nicht mehr angeboten							+8
Gerät G	2019	+	++	++	-	+	+		+6
Gerät H	2015/2019	+	+	++	++	+	+		+8
Gerät I	2019	Abbruch wegen mangelhafter Ergebnisse							n.e.
Gerät J	2019	-	-	0	-	n.e.	+		-2

*++=2 Bewertungspunkte (BWP); +=1 BWP; 0=0 BWP; --=-1 BWP
n.e. = nicht ermittelt