



## Belegreife und Feuchte

### Die KRL-Methode zur Bestimmung der Feuchte in Estrichen

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

## Inhaltsverzeichnis

|  |   |
|--|---|
| 1. Einleitung.....   | 2 |
| 2. Arbeitsanweisung zur Messung der korrespondierenden relativen Luftfeuchte (KRL-Messung) an Stemmgut aus Zement- und Calciumsulfatestrichen..... | 3 |
| 3. Dokumentation und Richtwerte zur Beurteilung des Messergebnisses.....   | 5 |
| 4. Theoretische Grundlagen.....  | 6 |
| 4.1 Feuchte aus thermodynamischer Sicht.....   | 6 |
| 4.2 Sorptionsisothermen.....   | 6 |
| 4.3 Das KRL-Messergebnis und die Beurteilung der Belegreife.....   | 8 |
| 4.3.1 Belegreife.....  | 8 |
| 4.3.2 Belegreife in extensiven Größen.....   | 8 |
| 4.3.3 Belegreife in intensiven Größen.....   | 9 |
| 5. Fragen und Antworten.....   | 9 |

## 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 Luftfeuchte“ beschrieben. Die Beschreibung über diese Größe hat dabei den Vorteil, dass sie unabhängig von der Zusammensetzung einer Substanz (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).

Bislang gibt es im deutschsprachigen Raum jedoch keine Norm, Messvorschrift oder Grenzwerte, wie die Größe „Korrespondierende relative Luftfeuchte“ (KRL) an den in diesem deutschsprachigen Raum üblichen Estrichen zu messen und zu beurteilen ist.

Der vorliegende Bericht fasst die Erfahrungen der TKB zur Messung und Beurteilung der KRL zusammen und stellt eine Grundlage dar, um in der Branche auf einer einheitlichen Basis weitere Erfahrungen zu sammeln.

Die KRL-Messmethode und der Richtwert sollen dabei nicht die Messung und Beurteilung der heute üblichen Größen (Darr-%, CM-%, ...) ersetzen. Vielmehr sollen sie ergänzende Informationen liefern, wenn beispielsweise die Zusammensetzung eines Estrichs unbekannt ist oder Zweifel an der Zusammensetzung existieren.

Im Kapitel 4 „Theoretische Grundlagen“ werden die o. g. Zusammenhänge und Begriffe aus physikalischer Sicht erläutert.

Kapitel 5 enthält Antworten auf Fragen, die in der Entwurfsphase von den Korrekturlesern häufiger gestellt worden sind.

## 2. Arbeitsanweisung zur Messung der korrespondierenden relativen Luftfeuchte (KRL-Messung) an Stemmgut aus Zement- und Calciumsulfatestrichen

### Vorbemerkung

Die Messung der korrespondierenden relativen Luftfeuchte (KRL-Messung) dient zur Bestimmung des Materialklimas. Sie ist eine Größe zur Abschätzung der Belegreife. Die anerkannte Regel der Technik zur Bestimmung der Belegreife ist in Deutschland und einigen anderen Ländern zur Zeit die CM-Messung. Die hier vorgestellte Methode ist eine Ergänzung zur CM-Messung. Die Probenahme ist bei beiden Methoden identisch. Die KRL-Messung ist besonders zu empfehlen, wenn die Zusammensetzung oder das Trocknungsverhalten des Estrichs unklar ist.

### Probenentnahme und -vorbereitung

Zur Probenentnahme und zur Behandlung des Stemmgutes vor der eigentlichen Messung haben sich die Verfahren zur CM-Messung bewährt. Daher sind die ersten Schritte dieser Arbeitsanweisung identisch mit der Arbeitsanweisung zur CM-Messung, mit der sie kombiniert werden kann.

Grundsätzlich ist – wie bei anderen Feuchtemessmethoden auch – darauf zu achten, dass bei der Probenvorbereitung weder Feuchtigkeit verloren geht noch Feuchtigkeit von außen zugeführt wird.

Daraus folgt:

- Die Probenentnahme und -vorbereitung muss so schnell wie möglich durchgeführt werden.
- Für die Probenentnahme dürfen keine Verfahren eingesetzt werden, die mit starker Wärmeentwicklung, z. B. Bohren, Schneiden, oder Wassereintrag verbunden sind.
- Die Probenentnahme und -vorbereitung soll vor direkter Sonneneinstrahlung und vor Luftzug geschützt sein.
- Die Probe inkl. Zuschlag ist nur soweit zu zerkleinern, dass das gesamte Prüfgut in einer Körnung kleiner 8 mm vorliegt.

**Vor der Probenentnahme** sind jeweils folgende Maßnahmen zu ergreifen:

- Überprüfung der Messsonden. Der Sensor und die Schutzkappe müssen frei von Staub und Anhaftungen sein. Verschmutzungen des Sensors mit Estrich-Feinstaub führen zu fehlerhaften Messergebnissen.
- Die Geräte sind nach Herstellervorschrift zu kalibrieren. Bei zweifelhaften Messergebnissen soll mit einer Kalibrierung/Überprüfungsmessung die Funktion des Gerätes geprüft werden.
- Waage bereitstellen.
- Schale, Hammer, Meißel und Löffel bereitlegen.
- Verschließbares, sauberes und trockenes Gefäß (erfolgreich erprobt wurden: PE-Gefrierbeutel mit 3 l Volumen, CM-Flasche, PE-Flasche mit ca. 250 ml Volumen), Klebeband bereithalten
- Protokoll vorbereiten (Angabe von Baustelle, Stockwerk, Raum, Prüfdatum, Prüfer und Prüfergebnis).

### Prüfungsdurchführung

Die zu messende Probe ist für Bodenbeläge über den gesamten Querschnitt des Estrichs, für Parkett und Holzfußböden als Durchschnittsprobe aus dem unteren bis mittleren Bereich zu entnehmen.

1. Die Probe ist nur soweit zu zerkleinern, dass das gesamte Prüfgut in einer Körnung kleiner 8 mm vorliegt.
2. Es sollen ca. 100 bis 200 g Prüfgut in das Gefäß gegeben werden. Ein genaueres Abwiegen des Prüfgutes ist nicht notwendig (Ausnahme: kombinierte Messung in der CM-Flasche, Einwaage 50 g).<sup>1</sup>
3. Die Messsonde vorsichtig in das Gefäß einführen und auf das Grobkorn des Prüfgutes auflegen. Vorzugsweise sind Messsonden mit Staubfiltern zu verwenden.
4. Bei Verwendung eines Beutels soll die Luft per Hand weitestgehend ausgestrichen werden. Anschließend die Beutelöffnung eng um den Stab der Messsonde legen und mit Klebeband verschließen (An-

---

<sup>1</sup> Ein exaktes Einhalten der Einwaage ist, anders als bei der CM-Messung, nicht erforderlich, da nicht die im Stemmgut enthaltene absolute Wassermenge bestimmt wird, sondern stattdessen die sich im Gleichgewicht einstellende relative Luftfeuchte. Für Zementestriche und Calciumsulfatestriche gelten die gleichen Einwaagemengen.

kleben des Beutelrandes an den Sondenstab).<sup>2</sup> Feste Gefäße sollen bevorzugt hoch gefüllt werden und sind mit einem passenden Verschluss mit eingebautem Sensor zu verschließen.

5. Das Gefäß mit Prüfgut und Messsonde bis zur Gleichgewichtseinstellung auf dem Boden bei gleichbleibender Temperatur lagern. Das Gefäß ist vor direkter Sonneneinstrahlung, Luftzug und anderen Einwirkungen, die eine Temperaturschwankung bewirken, zu schützen. Das Gefäß darf nicht zu lange in der Hand gehalten werden, da sich die Probe sonst erwärmt<sup>3</sup>.
6. Am Messgerät wird die korrespondierende relative Luftfeuchte nach frühestens 30 Minuten (die Dauer der Gleichgewichtseinstellung ist geräteabhängig) abgelesen. Der Gleichgewichtszustand gilt als erreicht, wenn sich der angezeigte Messwert innerhalb von 3 Minuten nicht wesentlich verändert (+/- 1 % rLF).
7. Protokollieren der Messung:  
Die Dokumentation der Messung erfolgt über das Messprotokoll in der Anlage zu dieser Arbeitsvorschrift.

### Überprüfung des Sensors

Von einigen Herstellern der Messgeräte werden „Kalibriersets“ angeboten. Geeignet sind z. B. Prüfröhre mit einer Luftfeuchte im Bereich 75 bis 95 % rLF<sup>4</sup>.

### Hinweise zu Messsystemen

Anbieter geeigneter Systeme zur KRL-Messung sind u. a. folgende Firmen (in alphabetischer Reihenfolge):

- Gann Mess- und Regeltechnik GmbH, Gerlingen
- Protimeter, GE Sensing & Inspection Technologies GmbH, Pforzheim
- Dr. Radtke CPM AG, Baar, Schweiz
- Testo AG, Lenzkirch
- Trotec GmbH & Co. KG, Heinsberg
- Vaisala GmbH, Hamburg

---

<sup>2</sup> Die Dauer bis zur Gleichgewichtseinstellung der korrespondierenden relativen Luftfeuchte hängt vom Verhältnis Prüfgut zu Luftvolumen im Gefäß ab. Um möglichst rasch ins Gleichgewicht zu kommen, muss das Gefäß weitgehend mit Prüfgut gefüllt sein.

<sup>3</sup> Die Messung muss grundsätzlich unter stationären Bedingungen durchgeführt werden. Temperaturschwankungen sind zu vermeiden.

<sup>4</sup> Z. B. gesättigte NaCl-Lösung (75,5 % r. F. bei 20 °C), gesättigte KNO<sub>3</sub>-Lösung (93,2 % r. F. bei 20 °C)). Gemessen wird die korrespondierende Luftfeuchte oberhalb der Salzlösung.

### 3. Dokumentation und Richtwerte zur Beurteilung des Messergebnisses

(PROTOKOLL ZUR KRL-MESSUNG GEMÄSS ARBEITSANWEISUNG)

Auftraggeber: \_\_\_\_\_

Gebäude /  
Liegenschaft: \_\_\_\_\_

Bauabschnitt/-teil/  
Stockwerk/Wohnung: \_\_\_\_\_

#### Angaben zum Estrich und zur Messung

|                            |   |   |   |   |   |   |
|----------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Raum-Nr.                   |   |   |   |   |   |   |
| Estrichart (Bindemittel)   |   |   |   |   |   |   |
| Konstruktion               |   |   |   |   |   |   |
| - Estrich auf Trennlage    |   |   |   |   |   |   |
| - Estrich auf Dämmschicht  |   |   |   |   |   |   |
| - Verbundestrich           |   |   |   |   |   |   |
| - Beheizter Estrich        |   |   |   |   |   |   |
| Nenndicke (cm)             |   |   |   |   |   |   |
| Datum des Einbaus          |   |   |   |   |   |   |
| Prüfer                     |   |   |   |   |   |   |
| Datum                      |   |   |   |   |   |   |
| Prüfergebnis               |   |   |   |   |   |   |
| Raumtemperatur (°C)        |   |   |   |   |   |   |
| Bodentemperatur (°C)       |   |   |   |   |   |   |
| Messung-Nr.                | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Estrichdicke (mm)          |   |   |   |   |   |   |
| <b>KRL</b>                 |   |   |   |   |   |   |
| - Einwaage (g)             |   |   |   |   |   |   |
| - Temperatur im Gefäß (°C) |   |   |   |   |   |   |
| - KRL (% r.LF)             |   |   |   |   |   |   |
| <b>CM-Messung</b>          |   |   |   |   |   |   |
| - Einwaage (g)             |   |   |   |   |   |   |
| - Manometeranzeige (bar)   |   |   |   |   |   |   |
| - Wassergehalt (CM-%)      |   |   |   |   |   |   |

Nach derzeitigem Kenntnisstand stellen sich im Bereich der Belegreife bei unbeheizten Estrichen Messwerte unterhalb 75 % rel. LF, bei beheizten Estrichen unterhalb von 65 % rel. LF ein.

Bestätigung

\_\_\_\_\_  
Ort/Datum

\_\_\_\_\_  
Oberbodenleger (Prüfer)  
Stempel/Unterschrift

## 4. Theoretische Grundlagen

### 4.1 Feuchte aus thermodynamischer Sicht

„Der Ausdruck **Feuchtigkeit** oder **Feuchte** kennzeichnet die Anwesenheit von Wasser in oder an einer Substanz oder in einem Gas oder in einem Raum (z. B. im Keller eines Gebäudes). In der Physik und Materialkunde spricht man allgemein vom **Wassergehalt**.“<sup>5</sup>

Quantitativ kann die Feuchte bzw. der Wassergehalt mit den Mitteln der Thermodynamik beschrieben werden.

Grundsätzlich können thermodynamische Zustände mit unterschiedlichen aber gleichwertigen Variablen beschrieben werden.

Dafür werden entweder

- **intensive** (Variablen, die von der *Substanzmenge unabhängig* sind, Beispiele sind der Druck oder die Temperatur) oder
- **extensive** (Variablen, die von der *Substanzmenge abhängen*, also z. B. Masse, Volumen, ...)

Größen<sup>6</sup> benutzt.

In Bezug auf den Wassergehalt bzw. die Feuchte ist eine typische intensive Größe der sog. „**Dampfdruck**“ des Wassers, der bei Messungen „in der Luft“ als **Partialdruck**<sup>7</sup> vorliegt. Dieser Partialdruck wird häufig nicht direkt als Druck gemessen, sondern mit speziellen Sensoren als „**relative Luftfeuchte**“ in % des **Sättigungsdampfdrucks**<sup>8</sup> des reinen Stoffes Wasser in der Luft ermittelt.

Die „**korrespondierende relative Luftfeuchte**“ ist dann die Luftfeuchte, die sich in einem grenzwertig kleinen Luftvolumen um ein „feuchtes“ Objekt einstellt und über geeignete Sensoren gemessen werden kann.

Eine typisch extensive Größe der Feuchte ist z. B. die Wassermenge in einer gegebenen Probe, die dann in Masse-% oder Volumen-% umgerechnet wird. Da je nach Messmethode durchaus unterschiedliche Werte für den Wassergehalt in Masse-% ermittelt werden können, wird die Angabe häufig mit einen Hinweis auf die Messmethode gegeben. Darr-% ist eine Angabe in Masse-%, die sich auf den Darrzustand der Probe be-

zieht, meistens ergänzt um die beim Darren benutzte Temperatur, z. B. die bei Estrichen typischen 105 °C bzw. 40 °C.

Die Benutzung von intensiven Größen ist vorteilhaft, wenn Aussagen über den Gleichgewichtszustand eines Systems getroffen werden sollen. Intensive Größen müssen bei 2 oder mehr Phasen im Kontakt-Gleichgewicht jeweils gleich sein, extensive Größen sind nicht oder nur zufällig gleich.

Haben beispielsweise zwei Gegenstände die gleiche Temperatur, so sind sie im thermischen Gleichgewicht und man weiß damit auch, dass keine Wärme von einem zum anderen Objekt fließen wird. Enthalten zwei Objekte, die in Kontakt stehen, die gleiche Wärmemenge, kann keine Aussage getroffen werden, ob Wärme von einem zum anderen Objekt fließen wird.

Wenn drei wasserhaltige Materialien, z. B. Estrich, Luft, Holz, in einem geschlossenen System (z. B. einer dichten Edelstahlbox) im Gleichgewicht sind, werden alle drei Phasen (Holz, Luft u. Estrich) den gleichen Dampfdruck in Bezug auf die Substanz Wasser haben. Dieser Dampfdruck kann leicht über eine Messung der relativen Luftfeuchte ermittelt werden, die dann für den Estrich bzw. das Holz die sog. „korrespondierende Luftfeuchte“ ist. Das Verfahren ist analog zur Temperaturmessung im Kontaktgleichgewicht.

Auch kann bei Kenntnis der intensiven Messgrößen sofort eine Aussage getroffen werden, in welche Richtung ein „Strom“ einsetzen wird. Für die Berechnung des neuen Gleichgewichtszustandes sind dann aber auch extensive Größen notwendig, die jedoch aus den intensiven (siehe unten, 4.2 Sorptionsisothermen) bestimmt werden können.

### 4.2 Sorptionsisothermen

Im Grundsatz kann eine Beziehung zwischen intensiver und extensiver Größe hergeleitet werden. In Bezug auf die Feuchte wird diese Beziehung traditionell als Sorptionsisotherme dargestellt<sup>9</sup>, wobei meistens als extensive Größe die Darrfeuchte und als intensive Größe die relative Luftfeuchte benutzt wird.

<sup>5</sup> Siehe: <http://de.wikipedia.org/wiki/Feuchte>, kopiert am 2012-11-20

<sup>6</sup> H. Weingärtner, Chemische Thermodynamik, B.G. Teubner Verlag, 1. Aufl., Wiesbaden 2003

<sup>7</sup> „Der Partialdruck ist der Druck, der in einem Gemisch aus idealen Gasen einer einzelnen Gaskomponente zugeordnet ist. Der Partialdruck entspricht dem Druck, den die einzelne Gaskomponente bei alleinigem Vorhandensein im betreffenden Volumen ausüben würde.“ Siehe: <http://de.wikipedia.org/wiki/Partialdruck>, kopiert am 2013-02-16

<sup>8</sup> „Der Sättigungsdampfdruck (auch Gleichgewichtsdampfdruck) ist der Druck der dampfförmigen Phase eines Stoffes, wenn die flüssig-

förmigen und dampfförmigen Phasen sich im Gleichgewicht befinden.“, siehe:

<http://de.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4ttigungsdampfdruck>. Kopiert am 2013-02-16

<sup>9</sup> In der Wärmelehre wird die aufgenommene Wärme  $q$  nicht direkt als  $q = q(T)$ , mit  $T =$  Temperatur, angegeben; sondern die Differentialdarstellung  $dq = C dT$ , mit  $C = C(T)$ , die Wärmekapazität, bevorzugt. Die „Speicherkapazität“ für die Feuchte ist dann analog die Ableitung der Sorptionsisotherme.

Sorptionsisothermen sind häufig keine einfachen Funktionen sondern Relationen und zeigen eine mehr oder minder ausgeprägte Hysterese für die Absorption bzw. Desorption. Dies gilt insbesondere auch für viele Materialien die am Bau eingesetzt werden. In vielen praktischen Fällen, die mit einem Trocknungsprozess einhergehen, reicht jedoch die Kenntnis der Desorptionsfunktion aus.

Häufig kann die Sorptionstheorie von Brunauer, Emmett und Teller (BET-Isotherme)<sup>10</sup> für eine Beschreibung bzw. Modellierung der Sorptionsmessdaten benutzt werden.

Sorptionsisothermen sind abhängig von der konkreten Zusammensetzung eines Stoffes sowie seinem mikroskopischen und makroskopischen Aufbau, wobei sich alle diese Parameter durch Alterungsprozesse ändern können.

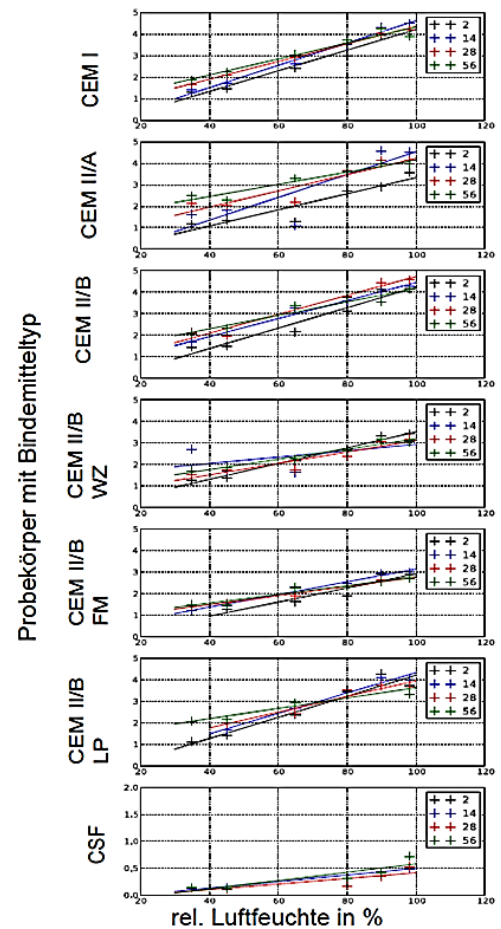
Beim TKB-Projekt „Belegreife und Feuchte“ wurden für einige Estrichmischungen mit einem Zuschlag-Zementverhältnis 6,0 und einem Wasser-Zementwert von 0,55 bzw. 0,40 in Abhängigkeit vom Alter Desorptionsisothermen im Feuchtbereich 35 bis 98 % rel. Luftfeuchte bestimmt<sup>11</sup>. In Graphik 1 werden die dort gefundenen Daten in Darr-%, in Graphik 2 in CM-%, niedergelegt; die Linien geben Regressionsgraden der Messpunkte wieder.

Bei den häufig in der Literatur zitierten Isothermen von W. Schnell<sup>12</sup> ist die Zusammensetzung der Estriche leider nicht genau angegeben, es wird allerdings bemerkt: „... Die Ausgleichsfeuchte gilt also streng genommen nur für einen bestimmten Estrich bestimmter Zusammensetzung und Verdichtung bei einem bestimmten Klima. Es hat sich allerdings gezeigt, dass für die übliche Zusammensetzung der Estriche im Wohnbau und gewerblichen Bau die Unterscheidung nach Bindemitteln in der Regel genügt. ...“<sup>13</sup>.

Die Isothermen für den Zementestrich und den Calciumsulfatestrich von Schnell stimmen im Bereich > 80 % rel. LF nur schlecht mit den hier vorgestellten Daten der TKB und im Fall des Zementestrichs auch schlecht mit denen vom ersten TKB-Ringversuch<sup>14</sup> überein. Für den Zementestrich zeigt eine Analyse der weiteren von W. Schnell veröffentlichten Daten, insbesondere den

Trockenkurven<sup>15</sup>, dass die daraus ermittelte Isotherme nur im unteren Bereich mit den Daten übereinstimmt. Die Trockenkurven von W. Schnell passen besser zu den TKB-Daten.

Graphik 1: Desorptionsisotherme  
Darr-Werte in %, nach Vorlagerung in Tagen



Hinweise: Die Benennung der Estrichbindemittel folgt den im TKB Bericht 1 benutzten Abkürzungen, siehe Kap. 2.1.1.1. Danach steht:  
CEM I – CEM I – CEM I 32,5 R; CEM2A – CEM III/A – CEM III/A-L 32,5 R; CEM II/B – CEM II/B-S 32,5 R; CSF: Werkstoffmörtel, Knauf FE 50 Largo  
LP: mit Lupulonenolier, FM: mit Fließmittel ( und wasserreduziert), WZ: wasserreduziert

<sup>10</sup> Die Anwendung der BET-Theorie für Baustoffe wird z. B. von H. Klopfer in „H.-M. Fischer et. al., Lehrbuch der Bauphysik, 4. Aufl., B. G. Teubner, Stuttgart 1997“ auf S. 332f diskutiert und erläutert.

<sup>11</sup> TKB-Bericht 1, Belegreife und Feuchte – Versuche zur Trocknung von Estrichen, März 2012

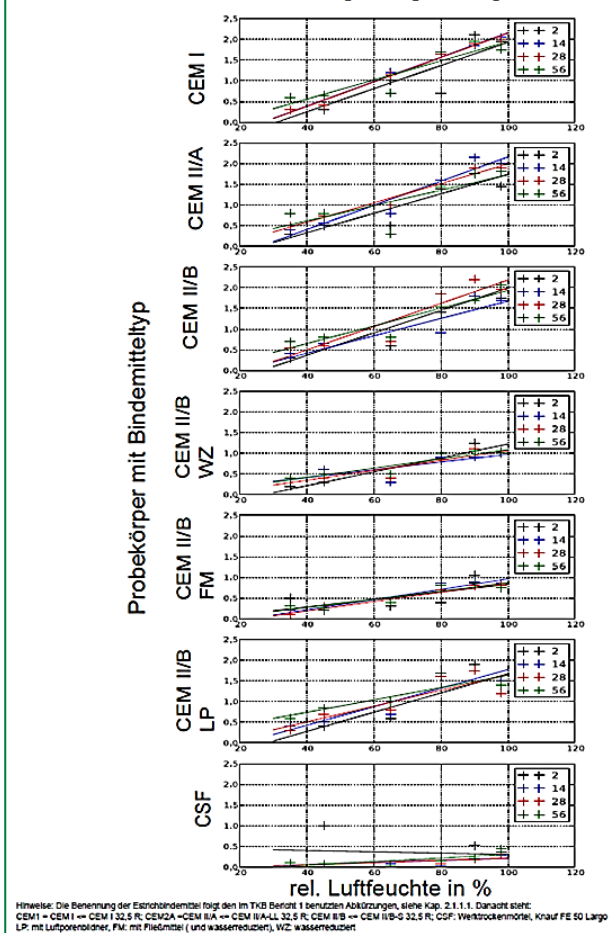
<sup>12</sup> Werner Schnell, Das Trocknungsverhalten von Estrichen – Beurteilung und Schlussfolgerungen für die Praxis, in: Rainer Oswald (Hrsg.), „Aachener Bausachverständigentage 1994“, Neubauprobleme – Feuchtigkeit und Wärmeschutz, AlBau, Bauverlag GmbH, Wiesbaden 1994

<sup>13</sup> Siehe Fußnote 12, S.86, Kap. 3, vgl. weiter S. 88, Kap. 5

<sup>14</sup> 26. TKB-Fachtagung 2010, Th. Brokamp et al., Verlegereife und Feuchte – Vorschläge der TKB zur Messung der korr. rel. Luftfeuchte.

<sup>15</sup> Handbuch für das Estrich- und Belaggewerbe, Hrsg. Bundesverband Estrich und Belag, Köln, R. Müller 1997, Darin: Zur Ermittlung von Belegreife und Ausgleichsfeuchte von mineralisch gebundenen Estrichen, W. Schnell, Nachdruck des Originals aus Boden/Wand/Decke 1/1985, zusätzlich Fußnote 12.

Graphik 2: Desorptionsisotherme  
CM-Werte in %, nach Vorlagerung in Tagen



### 4.3 Das KRL-Messergebnis und die Beurteilung der Belegreife

#### 4.3.1 Belegreife

Eine Definition des Begriffs „Belegreife“ findet man z. B. bei W. Schnell:

„Die Belegreife ist der Grenzfeuchtigkeitsgehalt des Estrichs, der vor der Verlegung einer bestimmten Bodenbelagsart abgewartet werden muß. ...

Die Belegreife liegt in der Regel über der Ausgleichsfeuchte für das trockene Wohnraumklima.“<sup>16</sup>

Als Ausgleichsfeuchte wird dabei ein Klima von 22 °C und 50 % rel. Luftfeuchte angenommen<sup>17</sup>, die Differenz zwischen Belegreifeuchte und Ausgleichsfeuchte bleibt leider unklar und man kann nur indirekt aus dem Kontext darauf schließen (siehe unten, Kap. 4.3.2).

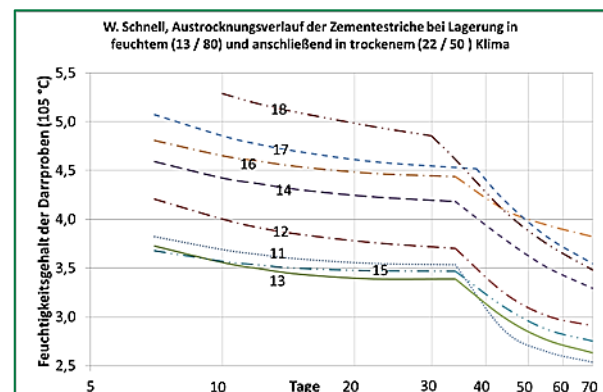
Grundsätzlich setzt die Belegreife aber voraus, dass der Belag in Bezug auf Feuchteauswirkungen schadensfrei verlegt werden kann. Leider gibt es aber nur wenig konkrete Angaben darüber, ab welcher Feuchte mit einem Schaden zu rechnen ist. Einige Schadensmechanismen setzen jedoch im Bereich 70 bis 80 % rel. Luftfeuchte ein<sup>18</sup>. Dies würde die obige Annahme bestätigen, dass die Belegreife deutlich über der Ausgleichsfeuchte liegt.

#### 4.3.2 Belegreife in extensiven Größen

Ältere Angaben für die Belegreifeuchte in extensiven Größen findet man bei W. Schnell, 1985<sup>19</sup>. Die dort angegebenen Grenzwerte für Zementestriche

| Darr-% | CM-%  | Belegreife   |
|--------|-------|--|
| ≤ 4,5  | ≤ 3,0 | Allgemein bei feuchtigkeitsunempfindlichen Belägen |
| ≤ 4,0  | ≤ 2,5 | Allgemein bei feuchtigkeitsempfindlichen Belägen   |
| ≤ 3,5  | ≤ 2,0 | Bei dampfdichten Belägen                           |

entsprechen in guter Näherung dem von ihm gefundenen Angleich an das Klima 13 °C und 80 % relative Luftfeuchte des ersten Teils seiner Lagerungen:



(nach: W. Schnell<sup>20</sup>)

Auch bei den von ihm geprüften Calciumsulfatestrichen ist dieser Zusammenhang gegeben, allerdings wurde dort die erste Lagerung bei 10 °C und 75 % rel. Luftfeuchte durchgeführt (siehe Bild 2, Tabelle 5 enthält abweichend „~ 13 / 80“)<sup>21</sup>

<sup>16</sup> Siehe Fußnote 12, S. 87, Kap. 3

<sup>17</sup> Siehe Fußnote 12, S. 87, Kap. 3

<sup>18</sup> 25. TKB-Fachtagung, Th. Brokamp, Verlegereife und Feuchte – Grundlagen.

<sup>19</sup> Siehe Fußnote 15, Tabelle 5 und Bild 4

<sup>20</sup> Siehe Fußnote 15, Bild 4

<sup>21</sup> Siehe Fußnote 15.



Aus heutiger Sicht erscheinen die Daten für die extensiven Größen relativ hoch. In einem aktuellen Kommentar<sup>22</sup> für Bodenbeläge (für Parkett und Holzplaster, siehe<sup>23</sup>) findet man folgende Angaben:

„Die ‚Belegreife‘ der einzelnen Estricharbeiten ist in der Regel bei folgenden Feuchtegehalten erreicht:

Zementestriche  $\leq 2,0$  CM-%

Als Heizestrich  $\leq 1,8$  CM-%

Calciumsulfatestrich  $\leq 0,5$  CM-%

Als Heizestrich  $\leq 0,3$  CM-%

Die angegebenen CM-%-Werte beziehen sich, unabhängig von den im Estrichbau gängigen Zementarten, auf eine Querschnittsmessung der Estriche.

Aus Sicherheitsgründen wird im Parkettlegerhandwerk eine Prüfgutentnahme vom Estrich aus der unteren bis mittleren Estrichdicke empfohlen. Dem kann, insbesondere bei größeren Estrichdicken, vor allem bei Estrichdicken von 8 cm und mehr, zugestimmt werden.“

Aufgrund von negativen Erfahrungen sind die ursprünglich vorgeschlagenen Werte auf den Wert für dampfdichte Beläge vereinheitlicht worden.

Festzuhalten bleibt aber, dass die Ausgleichsfeuchte über intensive Größen („22 °C und 50 % rel. Luftfeuchte“) definiert wird.

#### 4.3.3 Belegreife in intensiven Größen

Ist der Feuchtezustand mit der intensiven Größe „korrespondierende relative Luftfeuchte“ bekannt, kann sofort geschlossen werden:

- Liegt in guter Näherung bereits ein Gleichgewichtszustand vor?
- In welche Richtung wird Feuchte fließen?
- Wenn bestimmte Grenzwerte überschritten sind, werden bestimmte Schadensarten wahrscheinlich.

Die Bestimmung der Belegreife über eine Messung der korrespondierenden Luftfeuchte ist in vielen Ländern „Stand der Technik“.

Grob kann man 3 Messprinzipien unterscheiden:

- eine oberflächennahe Messung (BS5325)
- Messung im Bohrloch (NT Build 439, ASTM 2170)
- Messung an Stemmgut (NT Build 490)

Eine Übersicht aktueller Normen und Grenzwerte für die Methoden unter a) und b) findet man z. B. bei Kanare<sup>24</sup>, einige typische Werte sind hier zum Überblick zusammengefasst:

| Standard                          | Oberer Grenzwert in % r. LF  |
|-----------------------------------|--|
| BS5325, BS8203                    | 75   |
| Nordtest<br>NT Build 439,<br>1995 | Schweden, HusAMA83<br><br>80: Holz und holzbasierte Böden,<br>PVC mit biologisch abbaubarer<br>Rückseite, Kork<br><br>85: Homo. PVC, Kork mit PVC Unterseite<br><br>90: Bodenbeläge, bei denen ein<br>notwendiger Klebstoff sich durch Alkali<br>zersetzen kann. |
| Nordtest<br>NT Build 439,<br>1995 | Finnland, SisaRYL 2000<br><br>60: Parkett Elemente ohne Absperrfolie<br><br>80: Mosaik-Parkett<br><br>85: PVC Elemente, Kork mit Plastik<br>Gegenzug, Teppiche<br><br>90: PVC Fliesen, PVC Bahnen ohne Vlies,<br>Linoleum  |
| ASTM F2170                        | Je nach Boden zwischen $\leq 75$ bis 90  |

Der im Kapitel 3 vorgeschlagene Wert von  $\leq 75$  % r. LF liegt im unteren Bereich der in der Tabelle aufgeführten Werte und berücksichtigt die bisherigen in Deutschland gemachten Erfahrung mit der hier beschriebenen Methode.

## 5. Fragen und Antworten

### 1. Wieso gibt die TKB einen „Richtwert“ und nicht einen „Grenzwert“ an?

Die Methode ist im deutschsprachigen Raum neu, daher gibt es relativ wenige Baustellenerfahrungen. Ein Richtwert gibt in diesem Sinne eine Orientierung. Dieser Richtwert muss aber noch durch mehr Erfahrungen

<sup>22</sup> H.-H. Kaulen, N. Strehle, R. Kille, Kommentar und Erläuterungen VOB DIN 18365 Bodenbelagarbeiten, 7. Aufl., Holzmann Medien, Bad Wörishofen, 2010; dort: S. 113

<sup>23</sup> J. Barth, W. Schmidt, N. Strehle, Kommentar zur DIN 18356 Parkettarbeiten und DIN 18367 Holzplasterarbeiten, SN-Verlag, Hamburg 2011, dort: vgl. S. 125

| Belegreife von Estriche in CM-% |               |             |
|---------------------------------|---------------|-------------|
| Unterbodenart                   | Unbeheizte UG | Beheizte UG |
| Zementestrich                   | < 2,0         | < 1,8       |
| Claciumsulfatestriche           | < 0,5         | < 0,3       |

<sup>24</sup> H. M. Kanare, Concrete Floors and Moisture, 2nd. Edition, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association, Silver Springs, Maryland, USA, 2008

ggf. bestätigt werden, er kann sich dann zu einem Grenzwert entwickeln.

## 2. Ist der Richtwert von 75 % KRL zu niedrig angesetzt?

In der Tat gibt es Hinweise (siehe z. B. die Diskussion in Kapitel 4.3.2 und dort die Graphik von W. Schnell), dass ein Grenzwert höher – aber auch niedriger – liegen kann. Im Ausland werden seit mehreren Jahren Werte zwischen 75 und 90 % rel. LF genannt. Der Wert von 75 % ist nachweislich besonders gut abgesichert, daher liegt es nahe, zunächst diesen Wert als Grundlage zu wählen.

## 3. Muss man eine KRL-Messung zum Nachweis der Belegreife machen?

Nicht in Deutschland. Die TKB empfiehlt den Einsatz als unterstützende Methode in Zweifelsfällen, wenn beispielsweise ein CM- oder Darr-Wert unplausibel erscheint.

## 4. Wieso ist Belegreife in Bezug auf die Feuchte so schwer über nur einen Messwert zu definieren?

Belegreife bedeutet, dass nach dem Belegen der Belag ordnungsgemäß und schadensfrei liegen bleibt. Grundsätzlich kann Feuchte nur dann schadenswirksam werden, wenn sowohl der nötige Dampfdruck als auch die nötige Menge an Wasser an einem zu erreichenden Schadensort überschritten werden. Zu einer präzisen Vorhersage muss also bekannt sein, wann, wo und welche Menge Wasser mit welchem Dampfdruck (als Näherung für die Aktivität) vorhanden sein wird. Dafür müssten Daten über den Dampfdruck bzw. die relative Luftfeuchte, die Wassermenge, die Sorptionsisotherme, die Dichte und die Diffusionsleitfähigkeit gesammelt werden. Diese Daten sind in der Regel nur schwer zu ermitteln und man begnügt sich daher mit dem Parameter, der in der Praxis die größte Aussagekraft hat. Dies ist die korrespondierende relative Luftfeuchte.

## 5. Welchen Vorteil bietet die KRL-Methode gegenüber der Darr- oder CM-Methode?

Die Frage lässt sich am einfachsten mit einer analogen physikalischen Situation erläutern, die jedem geläufig ist.

Sie stehen vor der Frage, ob sie eine Reihe von Gegenständen mit einer unbekanntem „Wärme“ mit bloßen Händen berühren können, ohne sich „die Finger zu verbrennen“. Die meisten Menschen würde nun einfach eine Temperaturmessung vornehmen, und wenn die Temperatur der Gegenstände im Bereich 5 bis 45 °C ist, dürfte dies ohne Problem möglich sein. Aber bei sehr kalten oder sehr heißen Gegenständen ist mit Problemen zu rechnen.

Man bedenke aber, dass in einigen Situationen auch die Wärmemenge eine Rolle spielt: eine 100 °C heiße Vogelfeder kann angefasst werden, während ein 100 °C

heißes Metallstück Verbrennungen verursacht.

In Bezug auf die Feuchte ist das Gegenstück zur Temperatur die KRL, zum Darr- bzw. CM-Wert die Wärmemenge.

Weitere Vorteile für den Handwerker sind:

- Vermeidung von Einwaagefehlern, weil ein exaktes Einwiegen des Prüfgutes nicht notwendig ist.
- Die Methode ist unabhängig vom Material des Prüfgutes, insbesondere auch des Estrichbindemittels.
- Der Messzeitpunkt ist nach einer Mindestwartezeit frei wählbar.
- Einfache Durchführung, kein Schütteln zu bestimmten Zeiten, dadurch erhöhte Reproduzierbarkeit
- Keine nachträgliche Prüfung des Mahlgutes
- Keine Handhabung von gefährlichem Carbid, zerbrechlichen Ampullen und Acetylen.