



Bild 1

Nebelschwaden über einer Dampflokomotive.

Anregung aus dem Digital-Event TKB Update aufgegriffen

KRL-Methode – einfach erklärt

Die KRL-Methode ist in den deutschsprachigen Ländern eine neue Methode zur Messung und Beurteilung der Feuchte in Estrichen. Ihre Entwicklung wurde für die deutschen Gegebenheiten von der Technischen Kommission Bauklebstoffe (TKB) seit 2010 intensiv erforscht und vorangetrieben. Mit Herausgabe des TKB-Merkblatts 18 im Jahr 2018 ist sie als Stand der Technik anzusehen.

Im TKB Update, der digitalen Fassung der diesjährigen TKB-Fachtagung, kam der Wunsch der Leser nach Fachwissen in einfacherer, nicht wissenschaftlicher Sprache auf. Die Autoren dieses Fachbeitrags, der TKB-Vorsitzende Dr. Norbert Arnold (Uzin Utz) und TKB-Mitglied Dr. Thomas Brokamp (Bona), folgten dieser Anregung und erläutern die KRL-Methode bewusst leicht verständlich. Nachfolgend sind daher die Grundlagen der KRL-Methode, beginnend mit dem Dampfdruck von Wasser (**Vertiefung 1** im Infokasten auf der nächsten Doppelseite), über die relative Luftfeuchte und die korrespondierende relative Luftfeuchte bis hin zur Anwendung in der Praxis beschrieben.

Wasser – Dampfdruck und relative Luftfeuchte

Bevor nachfolgend auf das Verhalten von Wasser, und daraus resultierend die relative Luftfeuchte, eingegangen wird, sind zwei Begriffe zu klären:

Dampf: Wasserdampf ist gasförmiges Wasser in Luft.

Nebel: Nebel besteht aus kleinen, flüssigen Wassertropfen in der Luft.

Was wir bei einer Dampflok oder über einem Kochtopf sehen können, ist also Nebel und nicht Wasserdampf (**Bild 1**).

Alltagserfahrung: Wenn nasse Wäsche auf der Wäscheleine hängt, geht flüssiges Wasser in Wasserdampf über. Das Wasser verdunstet oder sprachlich gleichbedeutend, es verdunstet. Weht dazu noch starker Wind, wird der Wasserdampf rasch wegtransportiert, sodass weiteres Wasser schnell verdunsten kann. Als Folge daraus trocknet die Wäsche und bei Wind trocknet sie schneller als ohne (**Bild 2**). Ähnlich wirkt ein Fön, nur dass dieser durch die warme Luft die Verdunstung zusätzlich weiter beschleunigt.

Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass Wasser von dem aus ihm strebenden Dampf umgeben ist. Wenn der Wasserdampf vom flüssigen Wasser



Bild 2
Trocknende Wäsche im Wind.



Bild 3
Wasserschale mit Deckel.

wegtransportiert werden kann, wird das Wasser letztendlich komplett in den gasförmigen Zustand übergehen, dann ist es vollständig verdunstet (**Vertiefung 2** im Infokasten auf der nächsten Doppelseite). Wird der Wegtransport verhindert, z. B. indem man einen Deckel auf ein wassergefülltes Gefäß legt, wird das Wasser im Gefäß bleiben.

Alltagserfahrung: Jeder kennt es, dass Wasser in einer offenen Schale langsam verschwindet, weil es verdunstet. Deckt man die Schale ab, verdunstet es nicht mehr, weil es nicht mehr wegtransportiert werden kann (**Bild 3**).

Das Bestreben von flüssigem Wasser zu verdampfen führt zu einem Gasdruck, der sich auch messen lässt. Dies ist der sogenannte Wasserdampfdruck. Der Wasserdampfgehalt in der Luft resultiert also nicht aus der Fähigkeit von Luft, Wasserdampf aufzunehmen, stattdessen ist er die Folge davon, dass gasförmiges Wasser aus dem flüssigen Wasser strebt. Das Bestreben, aus dem flüssigen Wasser zu entweichen, nimmt mit steigender Temperatur stark zu. Entsprechend steigt auch der Wasserdampfdruck über der Flüssigkeit mit steigender Temperatur.

Der in Grafik 1 gezeigte Wasserdampfdruck in Abhängigkeit von der Temperatur stellt den jeweils höchstmöglichen Druck bei der jeweiligen Temperatur dar. Er kann nicht überschritten werden. Würde der Wasserdampfdruck über der Kurve liegen, würde der Wasserdampf zu Wassertröpfchen (also Nebel) kondensieren und zwar solange, bis er wieder auf den durch die Kurve dargestellten Druck abgesunken ist.

In der Realität wird der durch die Kurve dargestellte maximale Wasserdampfdruck bei einer gegebenen Temperatur nur selten erreicht. In der Regel ist er niedriger, weil z. B. durch Luftbewegung (Wind) Luft mit geringerem Feuchtegehalt zufließt.

Zwischenfazit: Der Feuchtegehalt von Luft lässt sich also über deren Wasserdampfdruck beschreiben. Bei einer gegebenen Temperatur kann ein bestimmter maximaler Wasserdampfdruck nicht überschritten werden, in der Regel liegt der reale Wasserdampfdruck unter dem maximal möglichen.

Will man den Feuchtegehalt von Luft über den Wasserdampfdruck beschreiben, muss man dazu auch jeweils die Temperatur angeben, um beispielsweise erkennen zu können, ob die Luft noch weiteren Wasserdampf aufnehmen kann, ob also Wäsche auf der Leine trocknen kann. So etwas macht allerdings normalerweise niemand. Stattdessen fasst man Wasserdampfdruck und Temperatur in der jedermann bekannten Größe „relative Luftfeuchte“ (r. F.) zusammen. Dem Wert 100 % r. F. wird dabei der maximale Wasserdampfdruck bei der jeweiligen Temperatur zugeordnet. Wie oben beschrieben kann der Wert von 100 % r. F. nicht überschritten werden, weil Wasserdampf dann sofort →

Dampfdruckkurve von Wasser

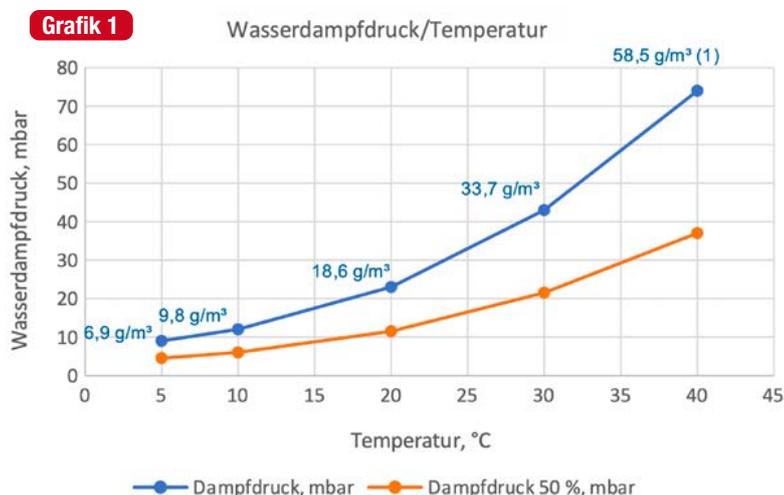




Bild 4

Foto: Shutterstock

Ein typisches Wüstenklima besitzt z. B. eine Temperatur von 40 °C und eine r. F. von 20 %.

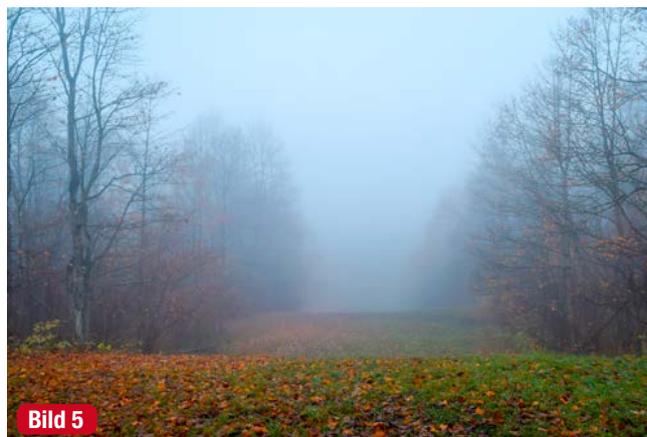


Bild 5

Foto: Shutterstock

Ein typisches Schmuddelwetter wären 5 °C und 80 % r. F., die absolute Wassermenge in der Luft beträgt dann ca. 6 g/m³.

in Wassertröpfchen umgewandelt und so aus der Luft entfernt würde. Über die Angabe der r. F. kann somit temperaturunabhängig erkannt werden, ob die Luft noch Wasserdampf aufnehmen kann. Die Feuchteaufnahme wird dabei um so größer sein, je niedriger die r. F. ist. Sie endet dann, wenn 100 % r. F. erreicht sind. Die jeweilige Temperatur beeinflusst dann nur noch die Geschwindigkeit, mit der die Wasserdampfaufnahme erfolgt. Wäsche trocknet also bevorzugt bei niedriger r. F. und noch besser, wenn Wind die bereits aufgefuchtete Luft entfernen und neue Luft mit niedriger r. F. heranbringen kann.

Alltagserfahrung: Wüsten sind sehr heiß und trocken. Wäsche trocknet dort extrem schnell und als Mensch fühlt man den Schweiß kaum, weil der sich bildende Schweiß sofort verdunstet. Ein typisches Wüstenklima besitzt z. B. eine Temperatur von 40 °C und eine r. F. von 20 % (Bild 4). Die absolute Wassermenge in der Luft beträgt bei einem solchen Klima ca. 12 g/m³. Im Herbst tritt in Deutschland häufig sog. „Schmuddelwetter“ auf (Bild 5). Die Kleider werden klamm, der Boden ist aufgeweicht und die feuchte

Luft transportiert die Wärme vom Körper weg: Wir frieren. Ein typisches Schmuddelwetter wären 5 °C und 80 % r. F. Die absolute Wassermenge in der Luft beträgt dann ca. 6 g/m³. Im trockenen Wüstenklima ist der Feuchtegehalt der Luft also etwa doppelt so hoch wie im nasskalten Schmuddelwetter.

Aus dem Beispiel Wüste und Schmuddelwetter ist erkennbar, dass zur Beurteilung der Feuchtwirkung und des Feuchtempfindens die Angabe der absoluten Wassermenge in der Luft völlig irrelevant ist. Maßgeblich für die Feuchtwirkung der Luft ist ausschließlich die r. F. Aus diesem Grund wird bei Aussagen zum Wetter auch immer nur die r. F. angegeben und nicht der absolute Feuchtegehalt von Luft.

Fazit: Zur Beschreibung der Feuchtwirkung von Luft ist die r. F. die einzig geeignete physikalische Größe. Wasserdampf wird dabei immer (!) von Luft mit höherer r. F. zu Luft mit niedrigerer r. F. übergehen.

Korrespondierende relative Luftfeuchte (KRL)

„Korrespondierend“ heißt nach Duden „übereinstimmend“ oder „in Verbindung stehen zu“. Bezogen auf die r. F. beschreibt „korrespondierend“ damit die Beziehung des Wasserdampfs in der Luft, zu Wasser/Feuchtigkeit in Stoffen, die von dieser Luft umgeben sind.

Alltagserfahrung: Käse enthält sehr viel Wasser und unter der Käseglocke stellt sich eine r. F. von 100 % ein (Bild 6). Infolgedessen verliert der Käse kein Wasser mehr und er bleibt frisch.

Praktisch alle Stoffe und Materialien in unserer Umgebung enthalten in unterschiedlichen Graden eine

Tabelle 1

Feuchtegehalte unterschiedlicher Stoffe

Stoff (65 % r. F.)	Wassergehalt (Gew.-%)
PE/PP	0 %
Polyester	0,40 %
Polyamid	3 %
Granit	0,10 %
CA	0,20 %
Beton	2 %
Baumwolle	7 %
Holz	9 %
Wolle	11 %

Quelle:TKB

gewisse Menge an Wasser. Meistens nehmen wir dies überhaupt nicht wahr, weil die enthaltene Feuchtigkeit die Eigenschaften der Stoffe für uns kaum spürbar beeinflusst. Wenn tatsächlich einmal Feuchtegehalte angegeben werden, erfolgt dies üblicherweise in Gewichtsprozent (**Tabelle 1**). Stoffe/Materialien, die für uns erkennbar bedeutende Mengen an Wasser aufnehmen, werden gelegentlich auch als hygroskopisch bezeichnet.

Alltagserfahrung: Baumwolle kann sehr viel Feuchtigkeit aufnehmen. Bei hoher r. F. enthält sie dann soviel Feuchte, dass sie die Wärme sehr gut ableitet, uns fröstelt und wird kalt. Der Feuchtegehalt im Holz von Musikinstrumenten verringert sich bei sinkender r. F. und die Holzteile schwinden. Diese Dimensionsänderungen beeinflussen die Tonhöhe und das Instrument ist verstimmt.

Der Feuchtegehalt eines Stoffes passt sich immer der r. F. der ihn umgebenden Luft an. Das, was uns z. B. von Holz vertraut ist - Parkettböden bilden wegen der niedrigen r. F. in beheizten Räumen im Winter Fugen aus - gilt im Grunde für alle Stoffe, die Wasser

3 Hintergrund-Informationen

Vertiefung 1: Das, was umgangssprachlich „Feuchte“ genannt wird, setzt sich physikalisch aus drei Sachverhalten zusammen: Wasser-Dampfdruck, Wasser-Menge und Wasserbeweglichkeit in und an einem Material. Bei der KRL-Methode wird der Wasser-Dampfdruck zur Beurteilung der Feuchte herangezogen. Bei der CM-Methode ist es die Wasser-Menge.

Vertiefung 2: Zur Verdunstung von Wasser wird auch immer Energie, sprich Wärme, benötigt. Wird keine Wärme zugeführt, kühlt das Wasser ab oder gefriert sogar. Dieser Aspekt wird hier nicht vertieft.

Vertiefung 3: Hierbei ist zu beachten, dass bei vielen Materialien sog. Hystereseeffekte auftreten können, d. h. Trocknung oder Aufwechtlung können den Gleichgewichtswert beeinflussen.

aufnehmen können: Je niedriger die r. F. in der umgebenden Luft, desto niedriger der Feuchtegehalt im vorliegenden Stoff. Wie bereits oben erwähnt, fühlen sich deshalb vor allem Baumwoll-Textilien bei nasskaltem Wetter klamm an. →

SOLCORA SILENCE

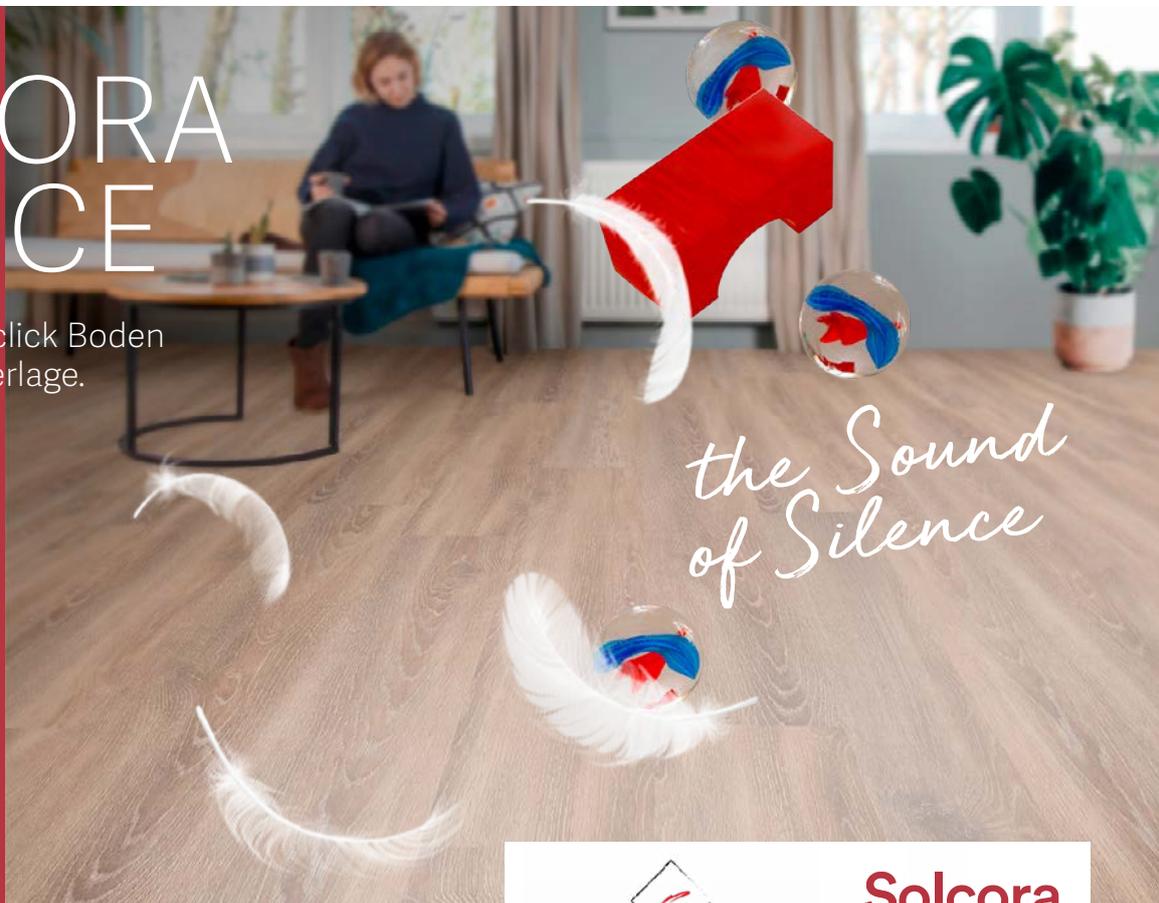
Der Rigid Core PVC click Boden mit integrierter Unterlage.



+49 2222 9786 130

www.flooring-concept.de

www.solcora.com



*the Sound
of Silence*

EINZIGARTIG - ANGENEHM -
WOHNGENUSS PUR



Solcora
by mFLOR



Bild 6

Unter der Käseglocke stellt sich eine r. F. von 100 % ein.



Bild 7

KRL-Messung im PE-Beutel.

Die Autoren Dr. Norbert Arnold



Foto: Uzin

Dr. Norbert Arnold ist Leiter Technische Sortimentsentwicklung bei Uzin Utz und TKB-Vorsitzender.

Dr. Thomas Brokamp



Foto: SN-Verlag

Dr. Thomas Brokamp ist Leiter VP Fastening bei Bona und Leiter des TKB-Arbeitskreises Untergrundfeuchte.

Ganz allgemein gilt also für jeden Stoff und jedes Material: Für eine bestimmte r. F. lässt sich diesem Stoff ein definierter Feuchtegehalt in Gew.-% zuordnen. Umgekehrt gilt dies natürlich genauso (**Vertiefung 3** im Infokasten auf der vorherigen Doppelseite). Ist ein Stoff von einem geschlossenen Luftraum umgeben (d. h. ohne, dass diese Luft ausgetauscht wird, z. B. in einem Beutel/Gefäß), so wird sich in dieser Luft eine vom jeweiligen Materialfeuchtegehalt abhängige r. F. einstellen. Diese sich einstellende r. F. wird als korrespondierende relative Luftfeuchte (KRL) bezeichnet.

Die in Tabelle 1 aufgeführten Feuchtegehalte der verschiedenen Stoffe beziehen sich alle auf eine r. F. von 65 %. Anders ausgedrückt beträgt ihre jeweilige KRL bei dem auf gelisteten absoluten Feuchtegehalt 65 % r. F. Würde man alle diese Stoffe in einem abgeschlossenen Raum mit 65 % r. F. gemeinsam lagern, so würde sich am absoluten Feuchtegehalt der Einzelstoffe nichts ändern, weil sie alle über die Luft mit einem Feuchtegehalt von 65 % r. F. in Verbindung stehen (= korrespondieren). Oder andersherum: Würde man in diesen geschlossenen Raum ein feuchtes Stück Holz mit z. B. 15 Gew.-% Wassergehalt einbringen, so würde dieses Holzstück so lange trocknen, bis es ebenfalls eine KRL von 65 % r. F. erreicht hätte, was etwa 11 bis 12 Gew.-% entspricht (Keylwerth-Diagramm).

Alltagserfahrung: Der Mensch besteht zu ca. 80 % aus Wasser. Es erscheint als durchaus plausibel, dass seine KRL nahe 100 % r. F. liegt. Zieht man sich einen wasserdichten Regenanzug an, so wird das sehr bald ungemütlich, denn der vom Körper gebildete Wasserdampf entspricht 100 % KRL und sammelt sich unter dem was-

serdichten Stoff und fällt dort als Tröpfchen aus, d. h. man schwitzt. Ist der Kleidungsstoff, wie üblich, wasserdampfdurchlässig tritt der Wasserdampf nach außen und die r. F. unter der Kleidung bleibt in einem für uns angenehmen Bereich.

Fazit: In einem geschlossenen Raum führt der Feuchtegehalt in einem Stoff zu einer definierten r. F. in der umgebenden Luft. Dies ist die zur jeweiligen Stofffeuchte gehörende KRL.

KRL-Methode

Die KRL eines Estrichs lässt sich messen, indem die r. F. in einem geschlossenen Behältnis, das eine Materialprobe des Estrichs enthält, gemessen wird. Dies ist das Grundprinzip der KRL-Methode zur Bestimmung der feuchtebezogenen Belegreife. Ist die KRL ausreichend niedrig, wird keine Feuchte mehr aus dem Estrich in den Bodenbelag (Klebstoff, Spachtelmasse) strömen und ein Feuchteschaden ist physikalisch ausgeschlossen. Wie oben beschrieben ist die KRL materialunabhängig. Wenn sich also beispielsweise 80 % r. F. über einer Estrichprobe einstellt, ist es völlig gleichgültig, aus welchem Material diese besteht, sei es Zement, Calciumsulfat oder auch Magnesia. Folglich gibt es auch nur einen für alle Estricharten gültigen Grenzwert für die Belegreife und dieser beträgt für unbeheizte Estriche 80 % r. F. Bei einer Temperaturerhöhung im Untergrund steigt der Dampfdruck und unter einem undurchlässigen Bodenbelag kann dieser nicht entweichen. Bei einem Estrich mit Fußbodenheizung muss deshalb der Grenzwert für die Belegreife auf 75 % reduziert werden.



Bild 8

Foto: TKB

KRL-Messbecher: Vergleichende Messungen haben gezeigt, dass man mit ihm die genauesten Messergebnisse erhält.

Bei der KRL-Methode zur Bestimmung der Belegreife von mineralisch gebundenen Estrichen wird, wie bei der CM-Messung, eine Materialprobe aus der Estrichfläche entnommen. Diese wird in ein geeignetes Behältnis (Plastikbeutel oder Stahlflasche) überführt und in diesem die KRL gemessen (**Bild 7**). Die gesamte Messprozedur ist im TKB-Merkblatt 18 detailliert beschrieben. Die KRL stellt sich unabhängig von der Menge der Materialprobe ein, ein Abwiegen der Probenmenge und eine Unterscheidung bei der Probenmenge zwischen verschiedenen Estricharten ist damit überflüssig. Mittlerweile ist auch ein speziell für die KRL-Messung konstruierter Messbecher verfügbar (**Bild 8**). Vergleichende Messungen haben gezeigt, dass mit ihm die genauesten Messergebnisse erhalten werden (TKB-Bericht 8).

Zusammenfassung

Maßgeblich für die Feuchtwirkung von Luft ist die relative Luftfeuchte. In einem geschlossenen Gefäß passen sich die Feuchten eines Stoffes und die der umgebenden Luft an. Die relative Luftfeuchte im Gefäß entspricht dann der KRL des Stoffes. Stoffe mit gleicher KRL sind im Gleichgewicht, d. h. ihr Feuchtegehalt ändert sich nicht mehr. Mittels KRL-Methode wird die KRL einer Estrichprobe ermittelt, indem die relative Luftfeuchte in einem geschlossenen Gefäß (KRL-Messbecher) um die Estrichprobe gemessen wird. Das Ergebnis ist unabhängig von der Art und der Menge des geprüften Materials. Die KRL-Methode kann daher bei jeder Art von Untergrund verwendet werden und der zugehörige Belegreifgrenzwert ist für alle Untergründe der gleiche. ■

Fussboden.tech



MEISTER

Lindura-Holzboden

Das Original von MEISTER.

Großformatig Ausdrucksstark Belastbar

LINDURA-HOLZBODEN
EIN STATEMENT AUS HOLZ
 DAS ORIGINAL VON MEISTER

www.meister.com