

# Auswertung des **TKB** Ringversuches KRL 2017

**TKB AG „Untergrundfeuchte“**

Auswertung der Daten und Vortrag: Dr. Thomas Brokamp, Bona GmbH D

Das Thema meines heutigen Vortrages ist die Auswertung des TKB Ringversuchs zur KRL Messung, der letztes Jahr stattgefunden hat.

Die Daten wurden von der TKB AG „Untergrundfeuchte“ zusammen getragen.

Mein Anteil besteht lediglich in der Auswertung der Daten und dem Erstellen dieser Präsentation.

## Basisdaten



- ~ 13 000 Datenpunkte
  - 260 Estrichmessungen
  - 28 Messgeräte
  - 15 Teilnehmer, die gemessen haben
- 
- Anonymisierte Tabelle mit Daten werden als Teil des TKB Bericht 4 auf dem IVK-Server zur Verfügung gestellt werden.

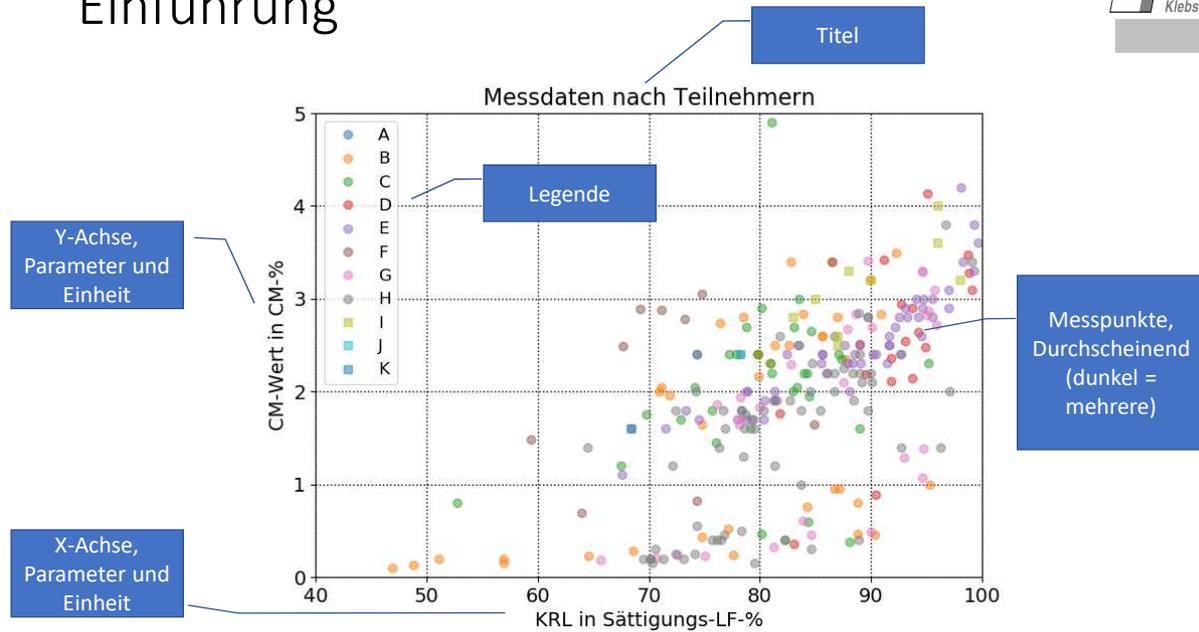
Fangen wir mit ein paar Basisdaten an, um uns einen groben Überblick zu verschaffen.

~ 13 000 Datenpunkte  
260 Estrichmessungen  
28 Messgeräte  
15 Teilnehmer, die gemessen haben

Ich kann hier und heute nicht alle Daten mit Ihnen diskutieren, es wird nur eine Auswahl präsentiert. Aber:

Anonymisierte Tabelle mit Daten werden als TKB Bericht 4 auf dem IVK-Server zur Verfügung gestellt werden.

# Einführung



Im weiteren Verlauf des Vortrages werde ich recht viele Diagramme zeigen. Die meisten werden diesem Diagramm ähneln und die hier angezeigten Elemente enthalten.

Die meisten Teile, wie z.B. Titel oder die Achsenbeschriftungen, sind leicht zu verstehen.

Eine Besonderheit liegt jedoch bei der Einzeichnung der Messpunkte vor; diese sind jeweils „durchscheinend“ (also „transparent“) eingezeichnet worden.

Wenn Punkte überlappen, erscheint der Überlappungsbereich dunkler, wenn Punkte übereinander liegen, erscheint der Punkt dunkler.

# Einführung

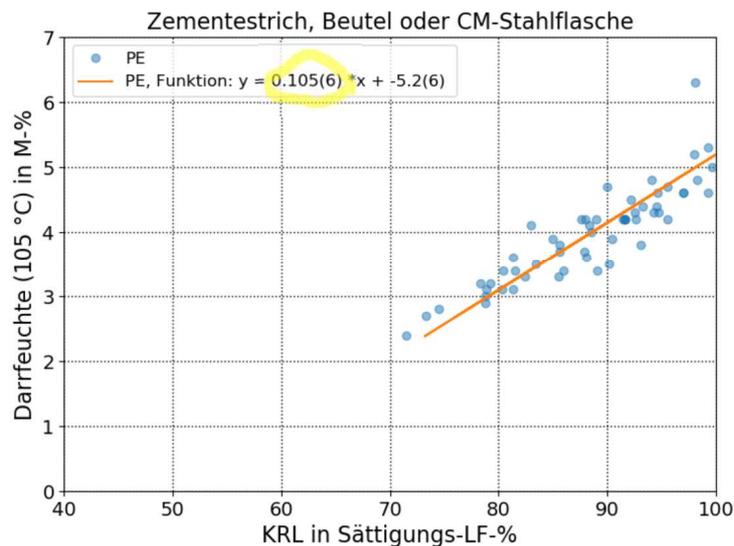
## Regression

### Methode:

„Orthogonale kleinste Quadrate“  
Wichtung auf Basis geschätzter Standardabweichung von +/- 10 %

Parameter in der Gleichung:

0.105(6) bedeutet:  
0.105 +/- 0.006



Eine weitere Besonderheit ist, dass wir Daten vorliegen haben, bei denen keine Koordinate mit keinem oder sehr kleinen Fehler vorgegeben ist. Damit ist bei Regressionsrechnungen die normale Methoden nach den kleinsten Abstandsquadraten bei den Y-Werten nicht sinnvoll anwendbar. Stattdessen muss die sog. Methode der „Orthogonalen kleinsten Quadrate“ verwendet werden. Bei der Regressionsrechnung wird dabei pauschal von einer Standardabweichung der Einzelwerte von 10 % ausgegangen.

Die entsprechend Gradengleichung wird dann in der Legende angegeben. Die Zahl in Klammern gibt dabei die Standardabweichung der Ziffer davor an.

# 1. Wie ist beim RV gemessen worden?

## **Wie messen die SV tatsächlich?**

- Relative große Freiheitsgrade für die Teilnehmer
- Nicht streng auf bestimmte Messvorschriften abgestimmt

## **Wichtige Fragen:**

- Ort der Probenahme (Obere Hälfte / Untere Hälfte / Querschnitt ?)
- KRL in PE-Beutel/Flasche oder CM-/Stahlflasche
- KRL Einwaage
- Einfluss der Außenbedingungen auf das Messergebnis

## 1. Wie ist beim RV gemessen worden?

Der Ringversuch sollte auch untersuchen, wie die SV tatsächlich messen. =>  
Daher gabe es relative große Freiheitsgrade für die Teilnehmer, die nicht streng auf eine bestimmte Messvorschriften abgestimmt war.

Wichtige Fragen:

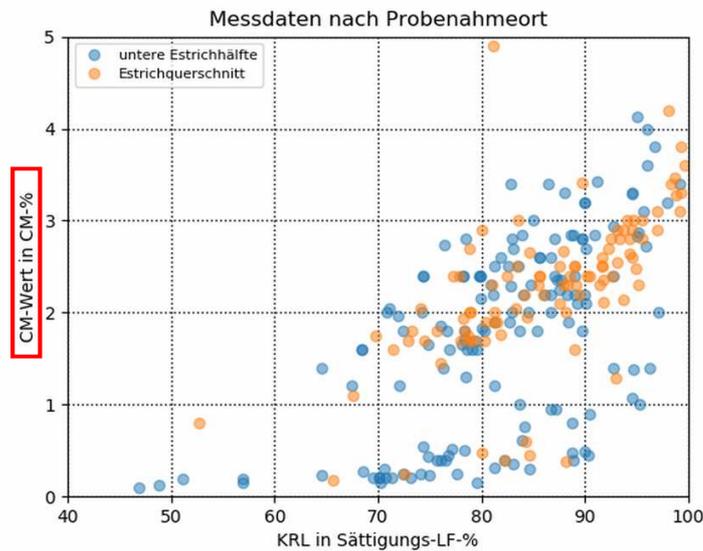
Probenahmeort

KRL in PE-Beutel/Flasche oder CM-/Stahlflasche

KRL Einwaage

Einfluß der Außenbedingungen auf das Messergebnis

# Probenahmeort: Unten : Querschnitt 149 : 98

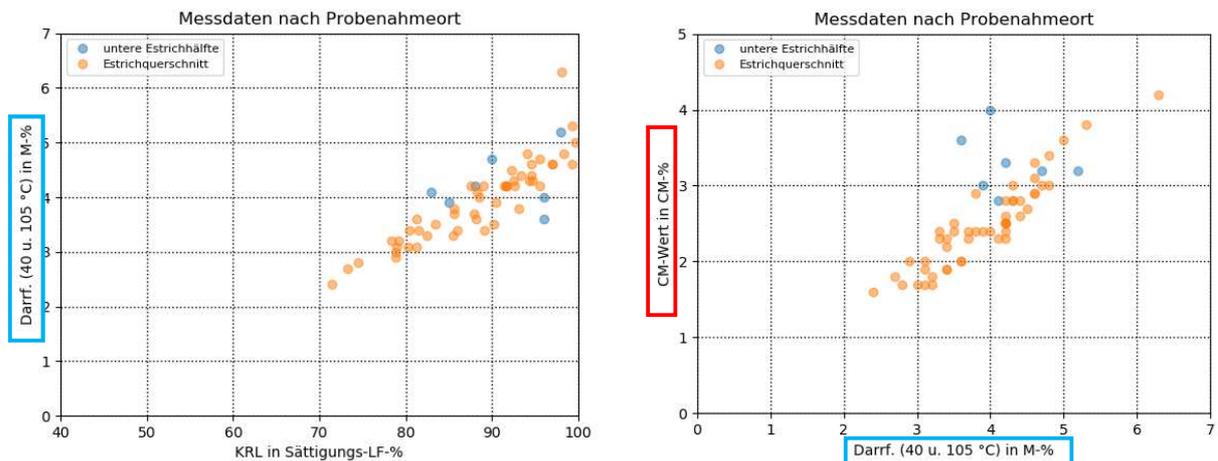


Fangen wir mit dem Probenahmeort an.

Hier werden Daten gezeigt, bei denen eine KRL und CM Messung vorlag. Tatsächlich liegt hier das Verhältnis von Probenahme aus dem unteren zum ganzen Querschnitt bei ca. 3 : 2.

Ansonsten fällt auch auf, dass die Punktwolken nicht in einer bestimmten Weise getrennt sind. Man erkennt auf Anhieb bei den CM-Werten eine Bi-Modale Verteilung mit einem Zementestrich und einem CaSO<sub>4</sub> Peak, der bei KRL aber nicht auftritt. Wir werden diesen Punkt später nochmal deutlicher sehen.

# Probenahmeort: Unten : Querschnitt 7 : 51



Anmerkung: Es wurden KEINE Darrfeuchten für CaSO4 basierte Estriche berichtet!

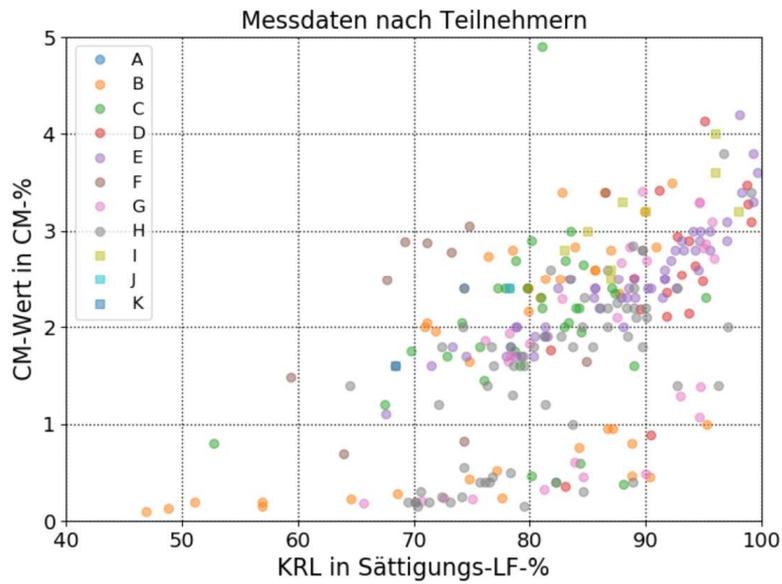
Hier wird jetzt die Darrfeuchte als Funktion der KRL bzw. die CM-Feuchte als Funktion der Darrfeuchte gezeigt.

Hier dreht sich jetzt das Verhältnis recht radikal um, deutlich verstärkt für die Probenahme über den Querschnitt.

Weiter liegen die Datenpunkte nicht Bimodal sondern jeweils in einer „Wolke“ vor.

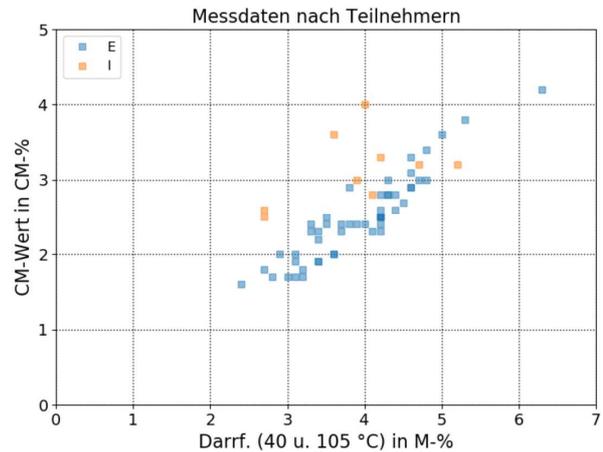
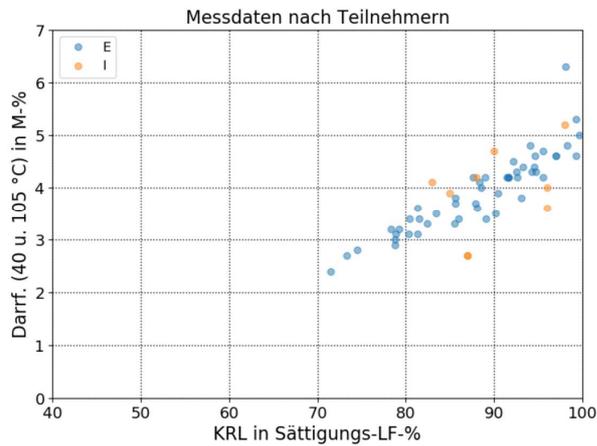
Der Grund für diese Besonderheit liegt darin, dass fast alle Darrwerte von einem Teilnehmer stammen, der wohl in einem Forschungsprojekt systematisch Messungen an einem bestimmten Estrich gemacht hat.

# Messdaten nach Teilnehmern



Alle Teilnehmer haben KRL und CM Messungen auf den Baustellen gemacht. Aber ...

# Messdaten nach Teilnehmern

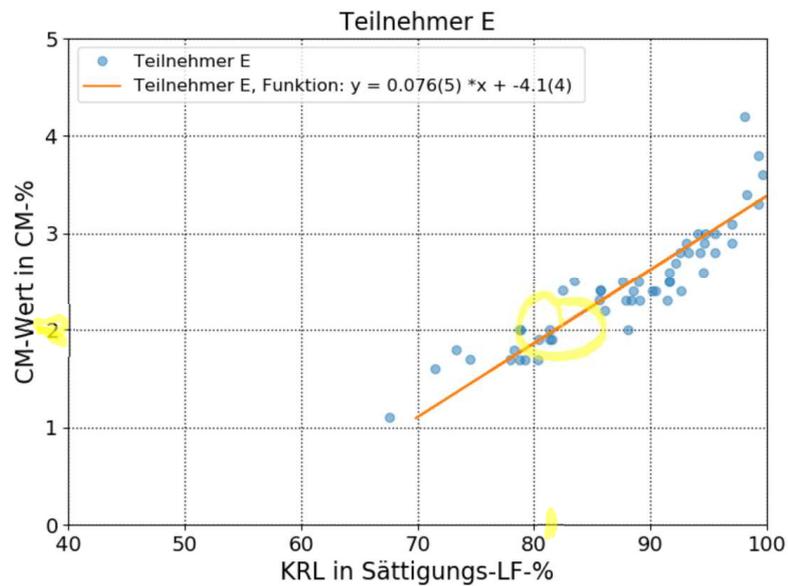


... während fast alle Teilnehmer CM- und KRL-Daten erfasst haben, haben nur 2 Teilnehmer auch Darrfeuchten ermittelt. Dabei kommt noch hinzu, dass von den 2 Teilnehmern einer den Löwenanteil ermittelt hat. Und der, wie wir später sehen werden, auch noch weitere Besonderheiten bei der Datenaufnahme vorweist. Dieser Teilnehmer E war einer der wenigen, der sich im „engen“ Sinne an die Vorgaben gehalten hat, daher ist die Qualität seiner Daten auch herausragend gut. Und das zeigt sich auch bei seinen KRL und CM-Daten, wie wir im folgenden Plot sehen:

## Teilnehmer E: CM v KRL, Zementestrich

Zementestrich,  
Querschnittsmessung:

2 CM-%  
=  
82 KRL-%

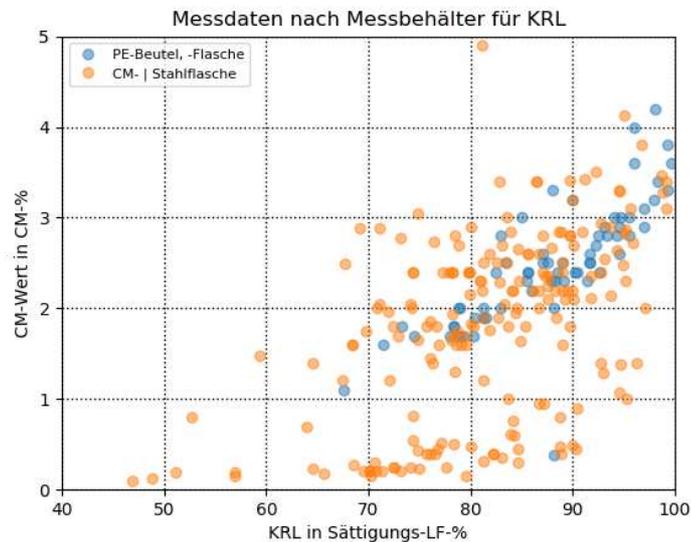


... wie sie hier sehen können. Die gute Qualität der Daten bei den Darr-Werten spiegelt also nicht eine bessere Methode, sondern einen guten Teilnehmer wieder, der weiß was er macht.

Beachten Sie bitte auch, dass diese Daten Querschnittsmessungen wiedergeben. Sie werden später sehen, wie sich Messdaten je nach Probenahmeort zu beurteilen sind.

## Messbehälter: PE-Beutel v. CM- | Stahlflasche

65 : 195



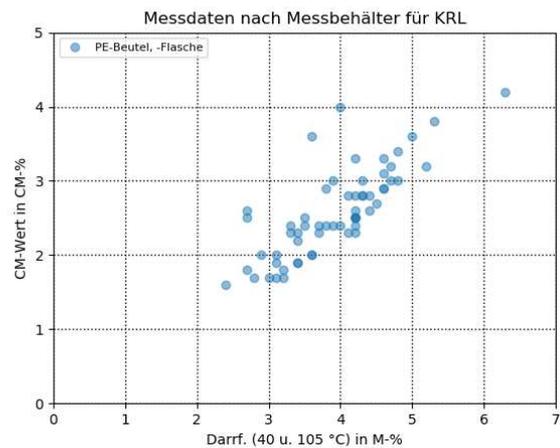
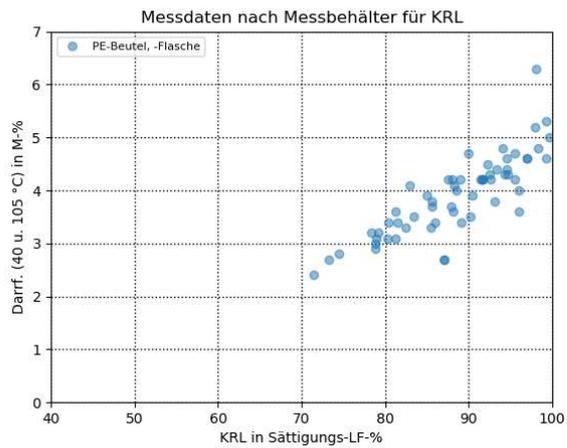
In der aktuellen Anleitung wird die Messung des KRL Wertes nicht an einen bestimmten Behälter bzw. Behältnis gekoppelt.

Hier kann man nun sehen, dass nahe zu 4/5 der Messungen in einer CM bzw. Stahlflasche gemacht worden sind.

Tatsächlich stammt ein sehr großer Teil der PE-Beutel Werte vom Teilnehmer E, die blauen Werte liegen auch „zentral“ in der Wolke der Zementestrich Werte.

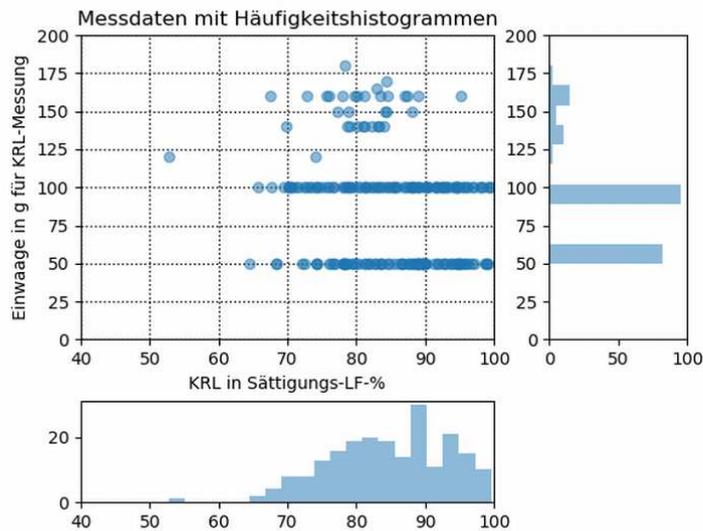
# Messbehälter: PE-Beutel v. CM- | Stahlflasche

60 : 0



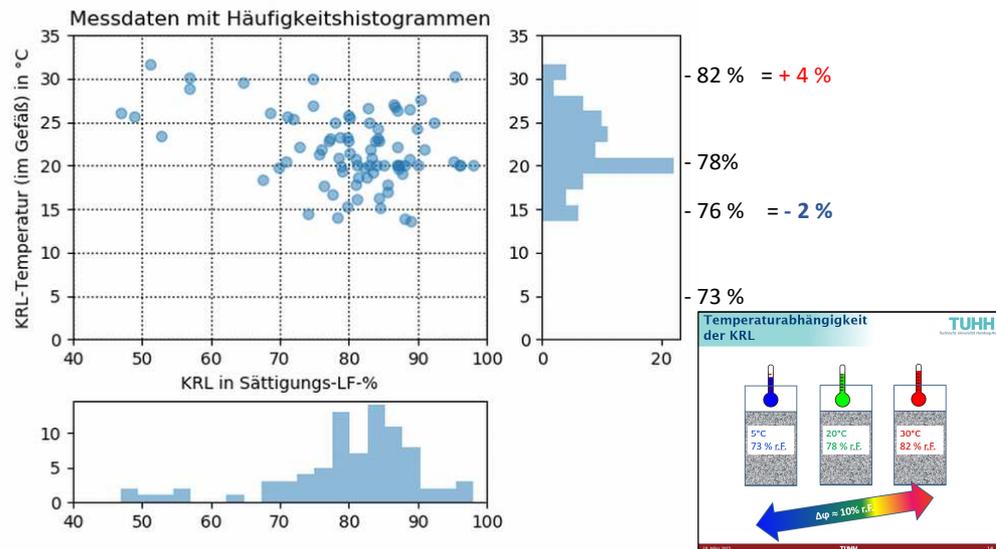
Das es jetzt bei diesen Diagrammen umgekehrt ist, mehr PE-Beutel als Stahlflaschen) liegt im wesentlichen an Teilnehmer E, der als einziger auch gedarrt hat.

## KRL Einwaage: 50, 100, 120 .. 180 g



Die KRL Einwaagen sind Multimodal verteilt. Man sieht deutlich Häufungen bei 50 und 100 g und dann noch eine Wolke im Bereich 120 .. 180 g. Der Grund für diese Verteilung liegt in der Bevorzugung der sequentiellen KRL/CM-Messung in der Stahlflasche. Die Einwaagen werden für die CM-Messung gemacht, vorher aber schon mal eine KRL Messung

# KRL Temperatur: 13 bis 32 °C

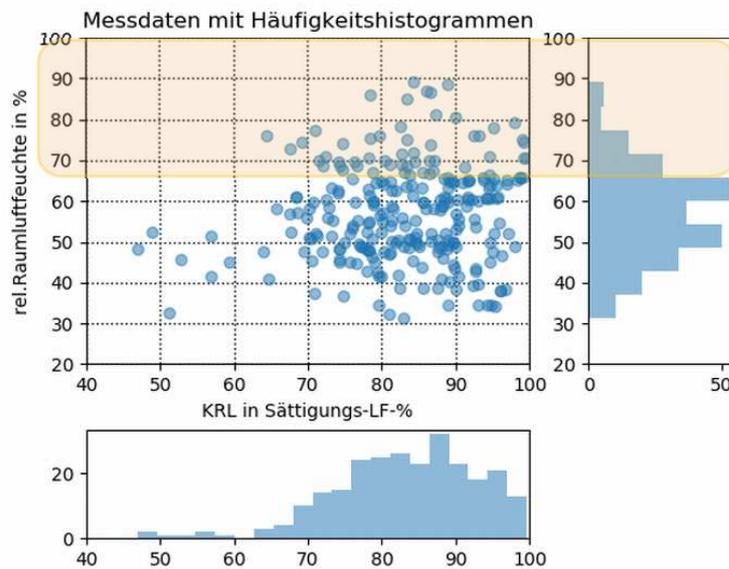


Die Temperatur bei der Messung lag im Bereich 13 bis 32 °C. Die Temperaturen sind annähernd normalverteilt, zeigen aber einen deutlichen Zusatzpeak bei 20 °C. Hier ist offensichtlich häufig ein „glatter Schätzwert“ eingetragen worden. Es gibt eine leichte Tendenz, niedrigere Luftfeuchten bei hohen Temperaturen zu messen.

Wenn Sie sich an Herrn Deckelmanns Vortrag erinnern, zeigt er die unten klein eingefügte Folie. Die Temperaturerhöhung von 20 auf 30 °C sollte danach um einer Erhöhung des KRL-Messwertes von ca. 4 % führen, ein niedriger Wert von 15 °C sollte zu einem auch um 2 % verringerten KRL-Wert führen.

Wir können also davon ausgehen, dass dieser Fehler in Relation zu anderen Fehlern relative klein ist.

## KRL Raumluftheuchte: 30 .. 90 %



Hier sieht man sehr schön, dass Raumluftheuchte und KRL-Feuchte – wie zu erwarten – nicht korreliert sind. Die Teilnehmer haben also keine Schwierigkeiten, Beutel oder Flasche dicht zu halten.

Es ist aber interessant fest zu halten, dass doch eine erhebliche Anzahl an Messungen bei Raumluftheuchten oberhalb von 70 % gemacht worden sind. Unter den Bedingungen kann ein Estrich eigentlich nur noch chemisch trocknen.

## Antworten

### 1. Wie ist gemessen worden?

- 1) Ort der Probenahme: **überwiegend Querschnitt!**
- 2) KRL in PE-Beutel/Flasche oder CM-/Stahlflasche: **Beides**
- 3) KRL Einwaage: **Wird entsprechend 2) gewählt, also 50 / 100 g für die Stahlflasche, sonst > 100 g.**
- 4) Einfluss der Außenbedingungen (Temperatur / Raumlufteuchte) auf das Messergebnis: **Nicht sichtbar**

Die oben gestellten Fragen zu „Wie ist gemessen worden?“ können damit beantwortet werden:

- 1) Ort der Probenahme: **überwiegend Querschnitt!**
- 2) KRL in PE-Beutel/Flasche oder CM-/Stahlflasche: **Beides**
- 3) KRL Einwaage: **Wird entsprechend 2) gewählt, also 50 / 100 g für die Stahlflasche, sonst > 100 g.**
- 4) Einfluss der Außenbedingungen (Temperatur / Raumlufteuchte) auf das Messergebnis: **Nicht sichtbar**

## 2. Messergebnisse

Fragen:

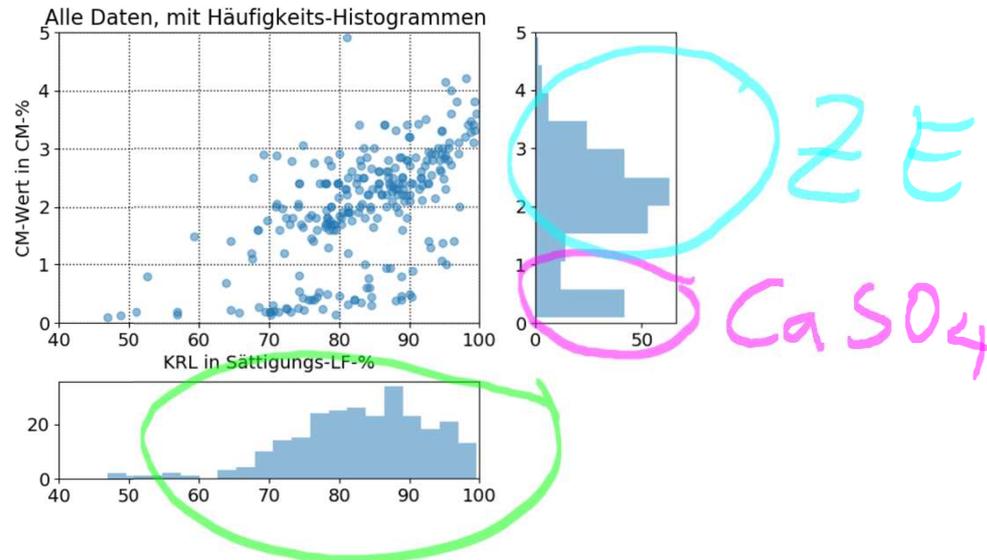
- 1) Wie ist die Bandbreite der Daten?
- 2) Wie ist die Korrelation der verschiedenen Messmethoden?
  - a) ... bei verschiedenen Estricharten
  - b) ... in Abhängigkeit von ggf. verwendeten Zusatzmitteln
- 3) Sind Angaben zu Richtwerten für die Belegreife möglich?

Kommen wir nun zur Analyse der Messergebnisse.

Folgende Fragen wollen wir untersuchen:

- 1) Wie ist die Bandbreite der Daten?
- 2) Wie ist die Korrelation der verschiedenen Messmethoden?
  - a) ... bei verschiedenen Estricharten
  - b) ... in Abhängigkeit von ggf. verwendeten Zusatzmitteln
- 3) Sind Angaben zu Richtwerten für die Belegreife möglich?

# Bandbreite der Daten

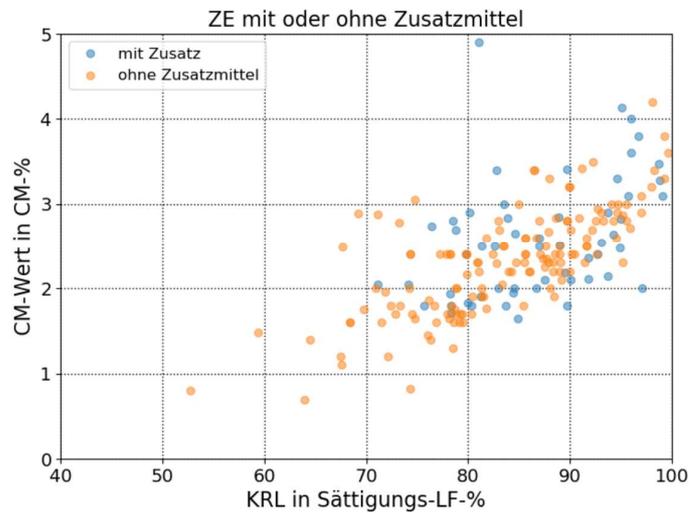


Fangen wir mit der Bandbreite der Daten an. Rechts und Unten sieht man noch Häufigkeitsdiagramme der CM und KRL Werte.

Man erkennt leicht, dass man bei der CM-Methode 2 wesentliche Moden sieht. Die bei höheren Werten ist – wie wir alles wissen – mit zementbasierten Estrichen verbunden, die bei niedrigen Werten zwischen 0 und 1 % im wesentlichen mit calciumsulfatbasierten Estrichen.

Da die KRL-Methode eine intensive Größe misst und grundsätzlich nicht materialabhängig ist, sieht man dort nur eine monomodale Verteilung der Daten mit einem wenig ausgeprägten Maximum zwischen 75 und 90 %. Dies ist auch zu erwarten, da niemand gerne offensichtlich nasse oder trockene Estriche untersucht.

# Zementbasierte Estrich

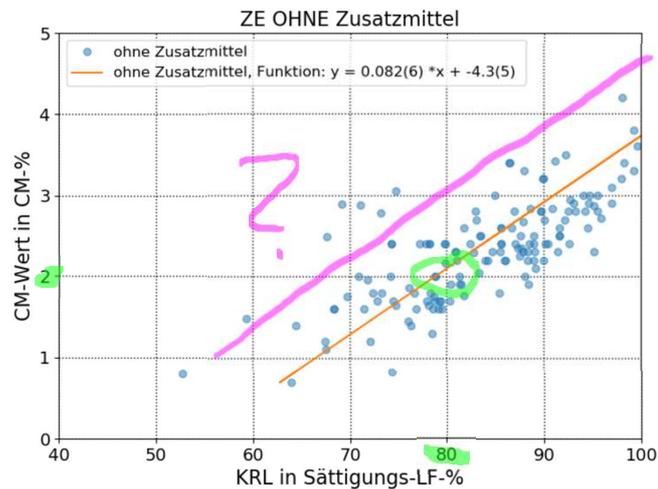


Schauen wir uns zunächst etwas Einfaches an. Zementbasierte Estriche.

Hier sind alle Datenpunkte eingetragen, allerdings zusätzlich differenziert danach, ob ein Zusatzmittel eingesetzt worden ist. Das ganze sieht auf den ersten Blick etwas wild aus,

Daher wollen wir uns im nächsten Schritt die beiden Datenmengen einmal isoliert ansehen.

# Zementbasierte Estrich - ohne Zusatzmittel



**Grenzwert(e)**

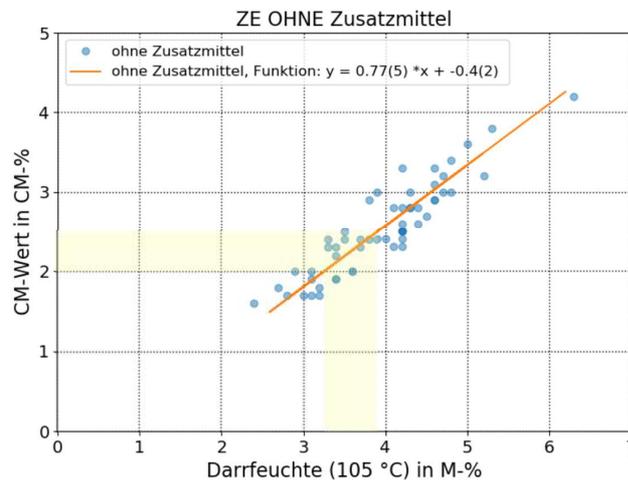
**2 CM-%  
=  
80 KRL-%**

Das sind jetzt zementbasierte Estriche ohne Zusatzmittel.

Auch wenn die Daten ziemlich verteilt sind, und (klick) hier auch ein paar sehr seltsame Daten auftauchen, kann man hier eine vernünftige linear Regression durchführen.

Der klassische CM Grenzwert von 2 % findet sich hier bei knapp unter 80 KRL % wieder.

# Zementbasierte Estrich - ohne Zusatzmittel



## NUR Teilnehmer E Grenzwert(e)

2 .. 2,5 CM-%  
=  
3,3 .. 3,8 Darr-%

Fehler (absolut):  
CM: +/- 0,25 CM-%  
Darr: +/- 0,35 Darr-%

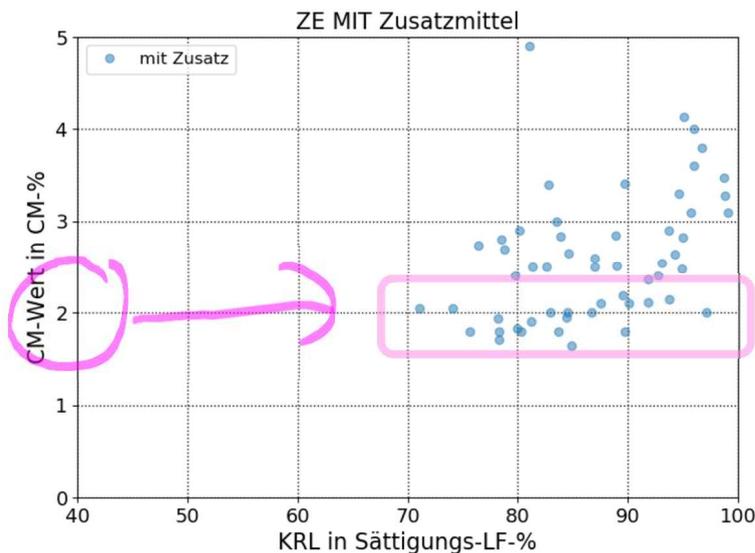
Weil die Daten recht gut zeigen, was bei sorgfältiger Arbeit möglich ist, möchte ich hier auch nochmal die CM-über Darr Werte zeigen.

Sie stammen im wesentlichen von Teilnehmer E und sind an einem Estrich gemessen worden.

Hier stimmt der Bereich der Grenzwert 3,5 Darr-% gut mit den daraus abgeleiteten Werten von 2 bzw 2.5 CM-% überein.

Man kann hier auch recht gut erkennen, mit was für einem Fehler bei CM und Darr-Messungen man rechnen muss: bei gleicher Darrfeuchte sind man beim CM-Wert im „trockenen Bereich“ um 2 CM-% Abweichungen von ca. +/- 0,25 CM-%, umgekehrt bei einer Darrfeuchte von 3,5 % Abweichungen von ca. +/- 0,35 %

## Zementbasierte Estrich - mit Zusatzmittel



CM-Werte sind abhängig von der Zusammensetzung.

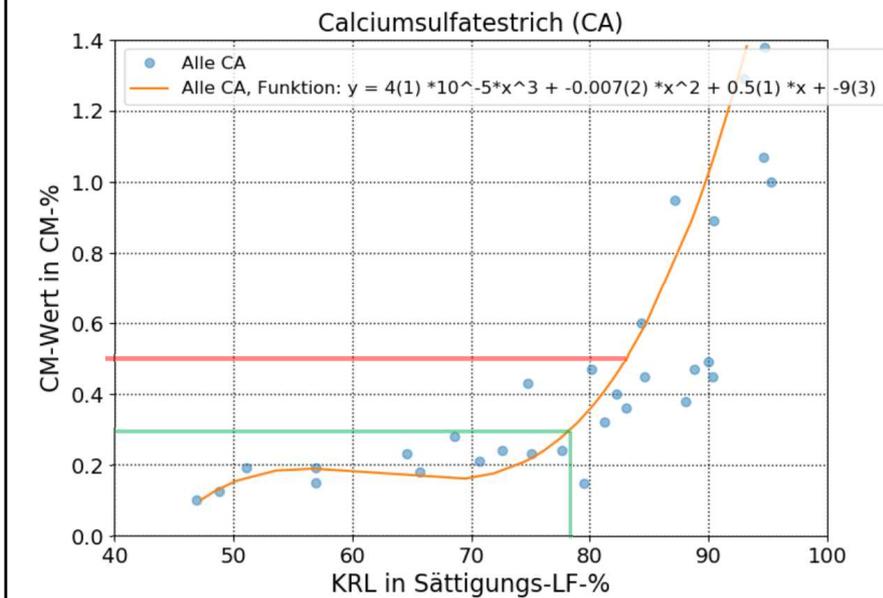
Vorgabe vom Hersteller für einen Trockenwert!

Mit Zusatzmittel wird die Punktwolke deutlich ausgedehnter. Eine klare Korrelation kann man hier nicht unbedingt sehen.

Man kann dies beispielsweise gut daran festmachen, dass bei 2 CM-% so gut wie jede KRL –Feuchte zwischen 70 und 100 % gemessen wurde,

Der Hintergrund hierzu ist die bekannte Feststellung, dass bei diesen Estrichen die „normalen“ Gesetze und Grenzen nicht gelten. Man muss schon genau wissen, um was für einen speziellen Estrich es geht, um die Trockenheit mit der CM-Methode bestimmen zu können. Weiß man das nicht, kann man aber die KRL-Methode nehmen.

# CaSO<sub>4</sub>-basierte Estrich



**Grenzwert(e)**

**0,3 CM-%  
=  
78 KRL-%**

Für CaSO<sub>4</sub> basierte Estriche wurden deutlich weniger Werte gesammelt. Die Polynomianpassung zeigt aber ungefähr, wo die Mittelwerte verlaufen würden.

Auch hier findet man den CM-Grenzwert bei knapp unter 80 % KRL wieder.

# Antworten

## 2. Messergebnisse

Fragen:

- 1) Wie ist die Bandbreite der Daten?
  - Bei CM-Methode materialabhängig, **bei KRL nicht.**
- 2) Wie ist Korrelation der verschiedenen Messmethoden
  - a) ... bei verschiedenen Estricharten: **gut**
  - b) ... in Abhängigkeit von ggf. verwendeten Zusatzmitteln
    - **Ohne Zusatzmittel gibt es eine gute Korrelation,**
    - **Mit Zusatzmittel ist die Korrelation schlecht.** Aber: bekanntes Problem der CM und Darr-Messung, da extensive Messgrößen!
- 3) Sind Angaben zu Richtwerten für die Belegreife möglich?  
**Ja. Sie liegen im Bereich 75 bis 80 KRL-%.**  
**Aber Vorsicht: Messungen sind teilweise im Querschnitt, teilweise in der unteren Hälfte gemacht worden!**

Aus den nun vorgestellten Daten kann nun die o.g. Fragen beantworten:

Wie ist die Bandbreite der Daten?

=>Bei CM-Methode materialabhängig, bei KRL nicht.

Wie ist Korrelation der verschiedenen Messmethoden

... bei verschiedenen Estricharten: gut

... in Abhängigkeit von ggf. verwendeten Zusatzmitteln

Ohne Zusatzmittel gibt es eine gute Korrelation,

Mit Zusatzmittel ist die Korrelation schlecht. Aber: bekanntes Problem der CM und Darr-Messung, da extensive Messgrößen!

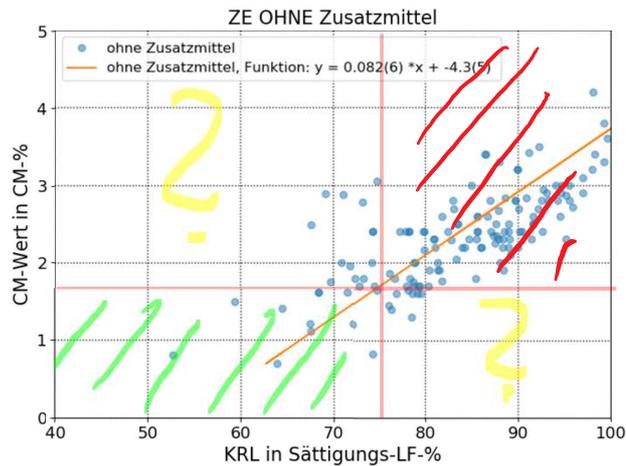
Sind Angaben zu Richtwerten für die Belegreife möglich?

Ja. Sie liegen im Bereich 75 bis 80 KRL-%.

Aber Vorsicht: Messungen sind teilweise im Querschnitt, teilweise in der unteren Hälfte gemacht worden!

Schauen wir uns dieses Beurteilungsproblem nocheinmal von einer anderen Seite an:

## „Risiken und Nebenwirkungen“



Schlecht!

gut!

Schauen wir uns noch einmal „Risiken und Nebenwirkungen“ an.

Wir können hier z.B. ein Kreuz einzeichnen, das durch die sicherlich trockenen Werte 75 % KRL und 1,8 CM-% läuft.

Die Werte im unteren linken Quadrant ist einfach zu beurteilen: alles gut!

Die Werte im oberen rechten Quadrant ist auch einfach zu beurteilen: schlecht!

Aber wem vertraue ich in den verbleibenden Quadranten? KRL oder CM?

Und wie groß ist hier eigentlich der Einfluss, ob man im Querschnitt oder in der unteren Hälfte gemessen habe?

# Synthese!

Dies ist jetzt der Punkt, an dem ich zunächst das eigentlich Thema des Vortrages verlassen möchte, und ihn in einen größeren Rahmen stellen möchte.

Grade hatte ich gefragt: Und wie groß ist hier eigentlich der Einfluss, ob man im Querschnitt oder in der unteren Hälfte gemessen habe?

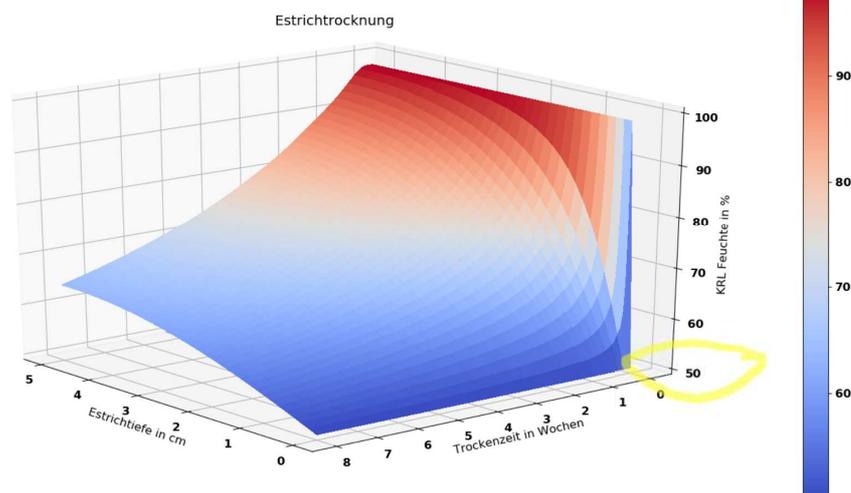
Auf diese Frage hat Herr Dr. Deckelmann gerade eine Teilantwort geliefert: Nämlich die Trocknungs- und Sorptionsisothermen. Der 2te Teil der Teilantwort findet sich im TKB-Bericht 1, dort wurde u.a. auch Diffusionskonstanten für verschiedenen Estriche mitgeteilt.

Alles, was sie jetzt noch brauchen, um die Situation komplett zu verstehen ist ein wenig Mathematik und es hilft auch, wenn Sie mit einem Computer und einer Tabellenkalkulation umgehen können.

Wieso?

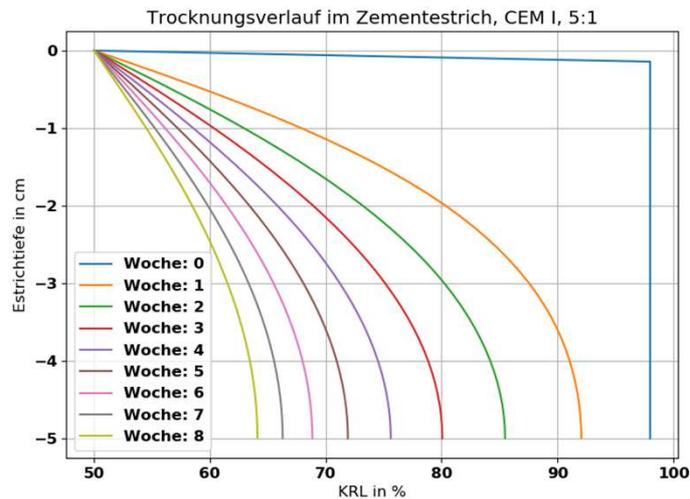
Mit den Daten liegt ihnen alles vor was sie brauchen, um sich im wahrsten Sinne des Wortes ein Bild vom Inneren des Estrichs zu machen. Die Situation ist so ähnlich, wie wenn sie von ihrem Körper ein MRT machen lassen. Dafür „schaut“ keiner in ihren Körper rein, es werden aber ein paar Daten gemessen, mit denen man sich dann ein Bild vom Inneren machen kann.

## Ein Bild vom Inneren des Feuchtezustands eines Estrichs: CEM 1, G/Z: 5:1, w/z=0,55



Diese Bild können Sie schon mit den Werten aus dem TKB Bericht 1 abschätzen. Es zeigt, wie sich bei einem Estrich mit einer Zusammensetzung, wie sie in den 80er und 90 Jahren verwendet wurde, die Feuchte sich über die Estrichtiefe mit der Zeit verändert. Wie sie vorne an der Lage der Kante erkennen können, wurde ein konstantes Außenklima von 50 % r.LF angenommen.

## Ein Bild vom Inneren des Feuchtezustands eines Estrichs: CEM 1, G/Z: 5:1, w/z=0,55

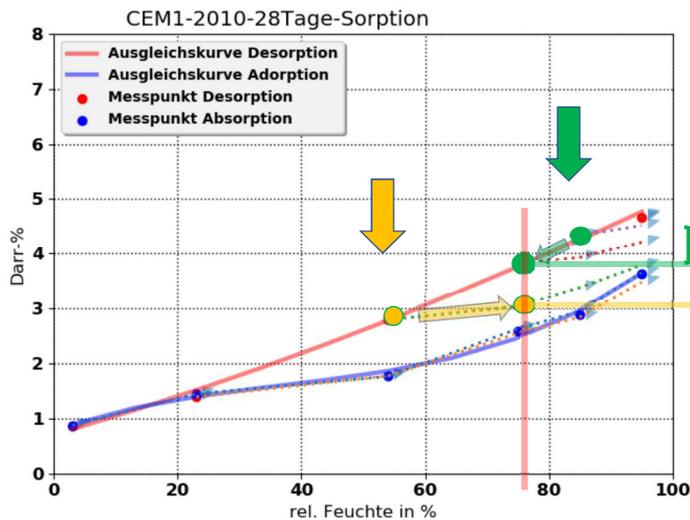


... dieses Chart enthält im Grundsatz die gleichen Informationen, aber etwas leichter für einige konkrete Fälle ablesbar.

Dies sind reale Feuchteverläufe in einem ca. 5 cm starken Estrich.

Man kann jetzt die Daten aus dem Bericht von Hr. Deckelmann nehmen und die Rechenprozedure, die er erläutert hat, am konkreten Beispiel durchexerzieren.

# Trockenkurve und Scanning Isothermen



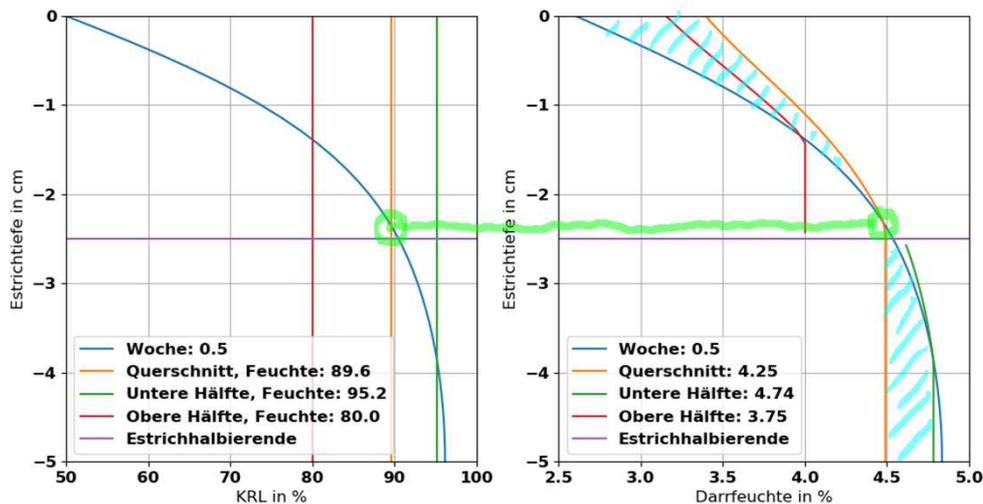
- 2 Proben mit verschiedene KRL  
zusammengebracht:
- Haben später die gleiche KRL
  - Unterschiedliche Mengen Wasser ausgetauscht
  - NICHT die gleichen Darrfeuchten!

Nochmal zur Erinnerung: Mischen man 2 Proben mit gleicher Masse, unterschiedliche KRL, stellt sich eine Gleichgewichtsfeuchte nicht beim Mittelwert, sondern beim über die Steigung der Desorptionskurve bzw. Scanning Isotherme gewichteten Wert ein, der immer näher an dem feuchten Wert liegt.

Bei den nachfolgenden Graphen habe ich grundsätzlich die gleiche Rechnung wie Herr Deckelmann durchgeführt, allerdings mit 2 wesentlichen Abweichungen:

- Ich haben den Trocknungsverlauf im Estrich berechnet, daher lagen konkrete Daten für die Feuchte über den Ort vor
- Ich habe nicht die Relation der Steigungen der beiden Isothermen genommen, sondern die Werte direkt aus den Isothermen entnommen. Die Scanning Isothermen habe ich dabei mit einem linearen Model über die Differenz der beiden Feuchtepunkte abgebildet.

Zementestrich (CEM I, G/Z=5:1, w/z=0,55), Trocknungskurve und Feuchte-Messwerte



Hier wird es jetzt interessant. Hier sehen sie jetzt

Links mit der blauen Kurve die Estrichtiefe über KRL, also wie sich die Feuchte von oben nach unten ändert.

Rechts davon eine sehr ähnliche Kurve, bei der der KRL-Wert über die Desorptionsisotherme in Darrfeuchten umgerechnet worden ist.

Weiter ist bei einer Tiefe von 2,5 cm eine violette Gerade eingezeichnet. Sie soll als „optische“ Stütze dienen und um zu sehen, wo die obere Hälfte aufhört und die Untere anfängt.

Links sehen sie auch 3 weitere Graden eingezeichnet, die jeweils angeben, welche mittlere Feuchte ich hier gemessen hätte, wenn ich

- Die Probe aus dem Querschnitt,
- Aus der unteren Hälfte oder
- Aus der oberen Hälfte genommen hätte.

Das müssen jeweils senkrecht verlaufende Geraden sein, weil im Gleichgewicht die Feuchte überall gleich sein muss. Die KRL verhält sich hier wie eine Temperatur.

Rechts sind die dazu passende Darrwerte eingezeichnet, die dort aber als „Winkel“ auftreten. Der Grund ist, dass einmal die Desorptions-, im anderen Bereich aber die

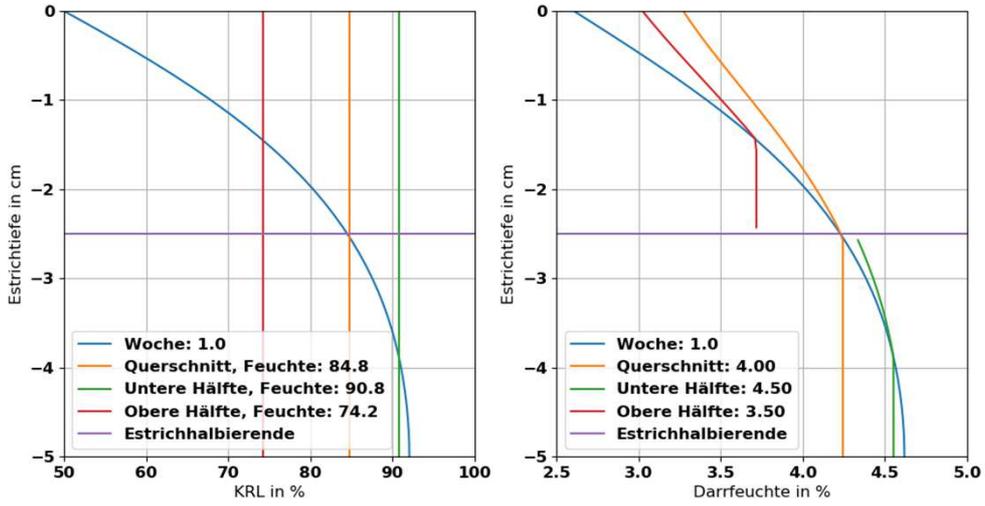
Scanning bzw. Adsorptionsisotherme verwendet wird.

Im Gleichgewicht, bei dem die KRL über die Probe gleich ist, muß genauso viel Wasser aus dem Desorptionsbereich geströmt sein, wie in den Adsorptionsbereich hineingeströmt ist. Graphisch bedeutet dies, das diese beiden Flächen, abgesehen vom Vorzeichen, gleich groß sein müssen.

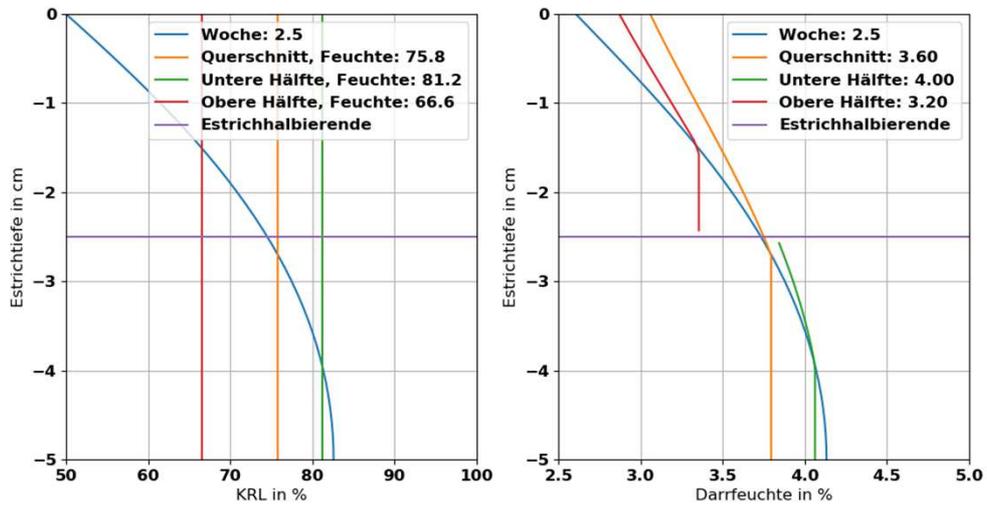
Bitte beachten Sie, dass ich in die Legende jeweils den Mittelwert der Feuchte angegeben habe, links ist dies etwas trivial, recht – aufgrund des Kurvenverlaufs – aber nicht.

So, und jetzt machen wir einmal ein wenig „Daumenkino“ und klicken uns durch die Diagramme, bis etwas interessantes passiert.

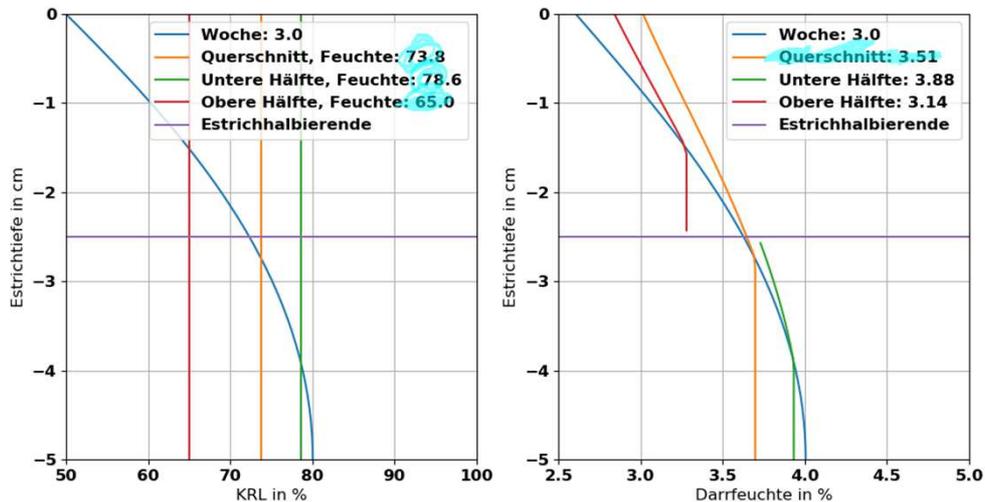
Zementestrich (CEM I, G/Z=5:1, w/z=0,55), Trocknungskurve und Feuchte-Messwerte



Zementestrich (CEM I, G/Z=5:1, w/z=0,55), Trocknungskurve und Feuchte-Messwerte



Zementestrich (CEM I, G/Z=5:1, w/z=0,55), Trocknungskurve und Feuchte-Messwerte



Dieses Chart ist jetzt besonders:

Sie sehen einen mittleren Darrwert von 3,5 %

Eine KRL in der unteren Hälfte von 79 %, im Querschnitt von 74 % und in der oberen Hälfte von 65 %.

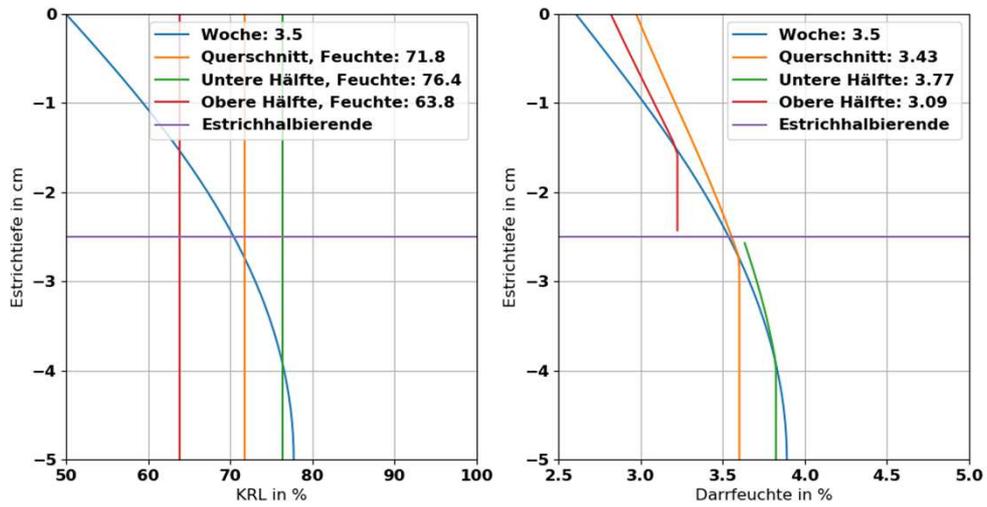
Der erste Wert sollte Ihnen als Grenzwert aus den Publikationen von Herr Schnell bekannt sein,

Werte knapp unter 80 % haben wir oben mehrfach gesehen;

ein Wert von 75 % war von der TKB als Richtwert vorgeschlagen worden, allerdings für die untere Hälfte

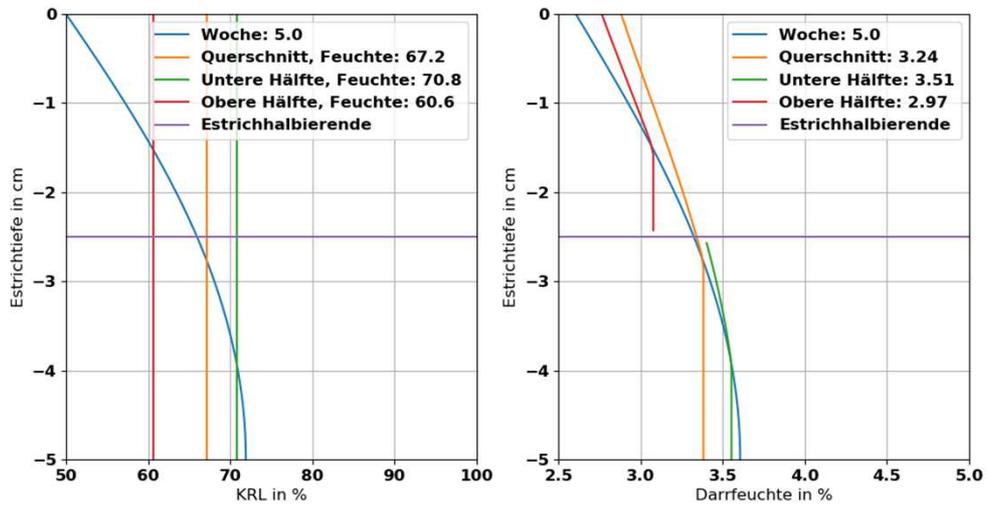
Und der Wert von 65 % findet sich als Grenzwert für die KRL Messung in einer Empfehlung unserer Österreichischen Kollegen wieder.

Zementestrich (CEM I, G/Z=5:1, w/z=0,55), Trocknungskurve und Feuchte-Messwerte

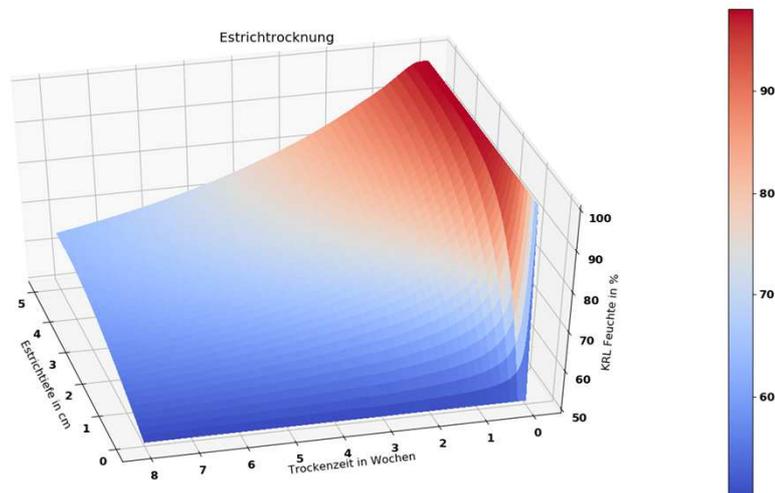


... der Estrich trocknet dann weiter.

Zementestrich (CEM I, G/Z=5:1, w/z=0,55), Trocknungskurve und Feuchte-Messwerte

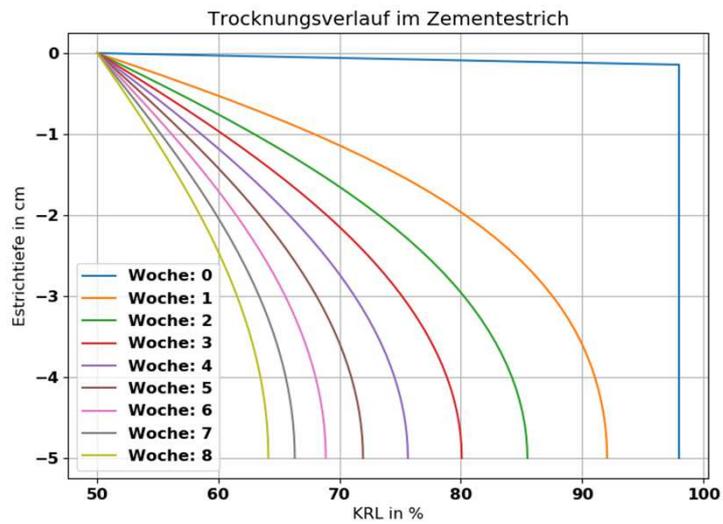


Ein Bild vom Inneren des Feuchtezustands eines Estrichs: CEM 1, G/Z: 6:1, w/z=0,55



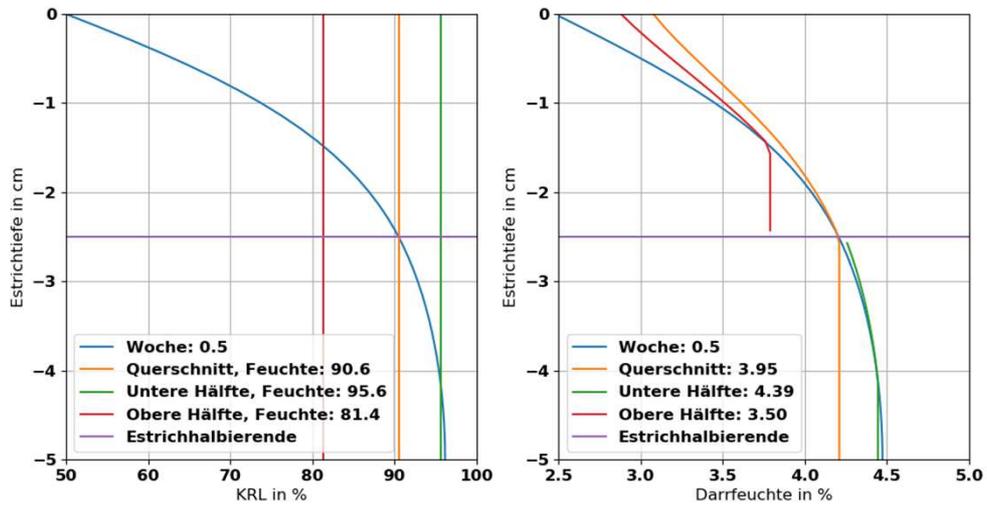
Jetzt schauen wir uns einen Estrich an, wie er heute üblich ist, mit einem G/Z von 6:1

Ein Bild vom Inneren des Feuchtezustands eines Estrichs: CEM 1, G/Z: 6:1, w/z=0,55



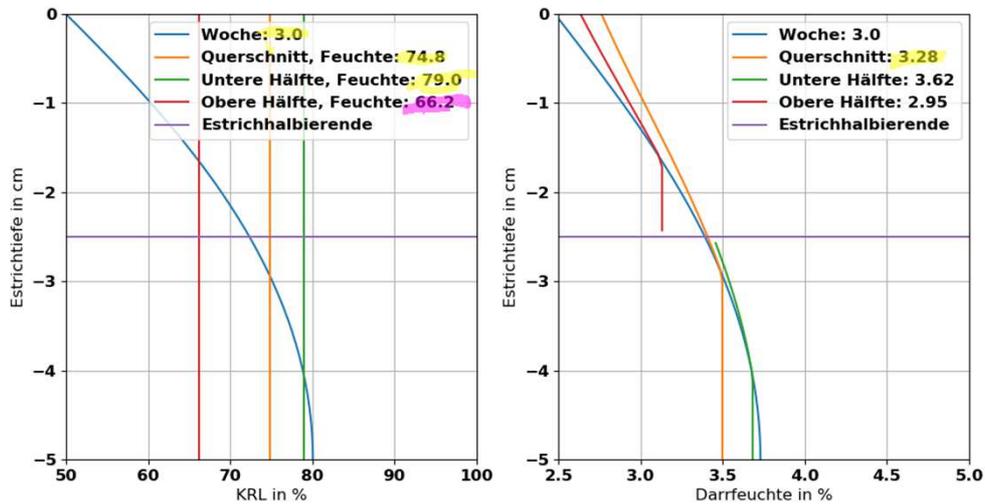
Da sind wieder die einzelnen Trockenkurven ....

Zementestrich (CEM I, G/Z=6:1, w/z=0,55), Trocknungskurve und Feuchte-Messwerte



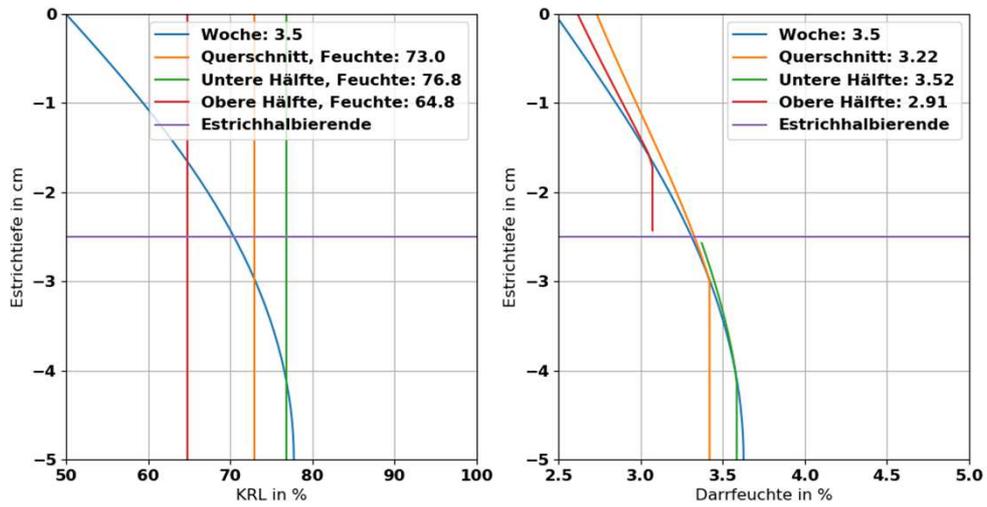
... und jetzt startet wieder das Daumenkino ...

Zementestrich (CEM I, G/Z=6:1, w/z=0,55), Trocknungskurve und Feuchte-Messwerte

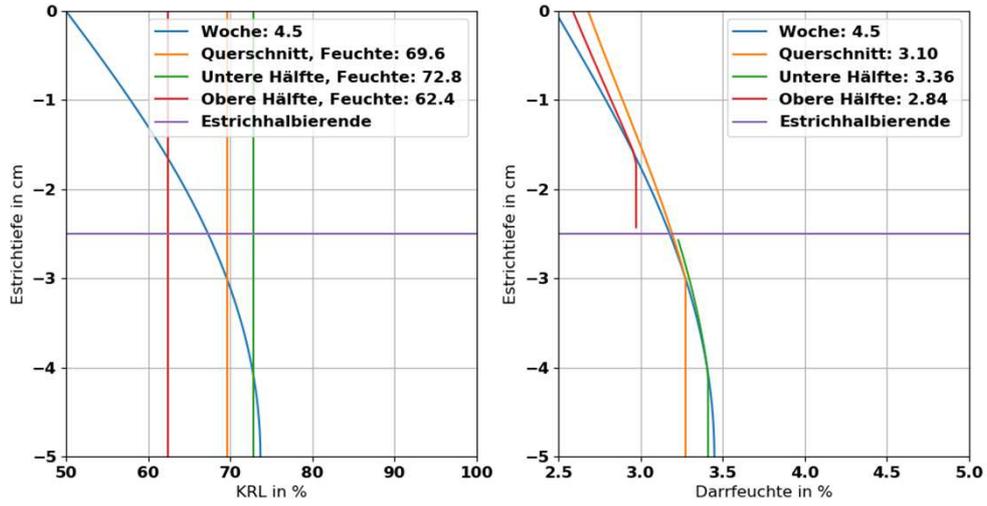


Hier sind wir beim Zeitpunkt um 3 Wochen. Bis auf die Werte für die „obere Hälfte“ sieht alles trocken aus. Der Querschnitt liegt mit einer Darrfeuchte von 3,3 % jedoch um knapp 0,2 % unter dem, was wir vorhin beim G/Z von 5:1 hatten.

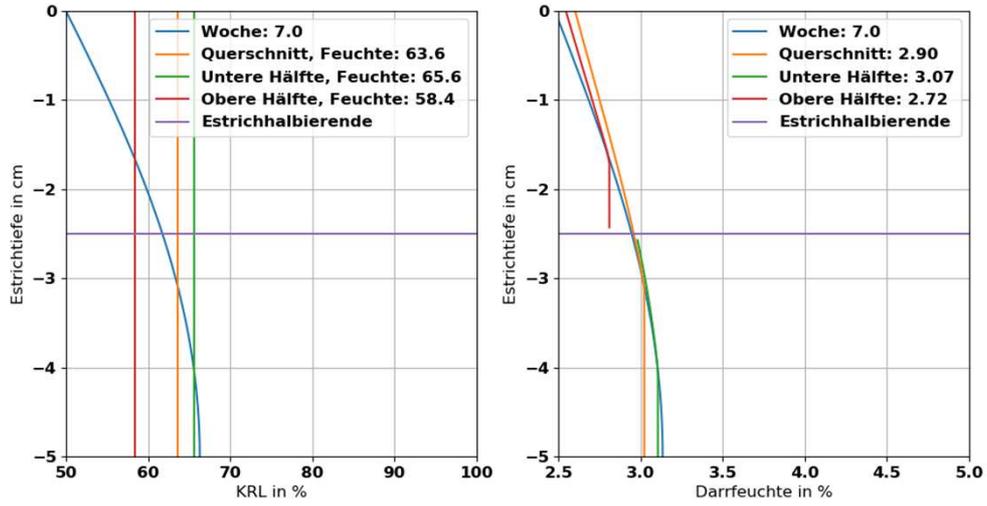
Zementestrich (CEM I, G/Z=6:1, w/z=0,55), Trocknungskurve und Feuchte-Messwerte



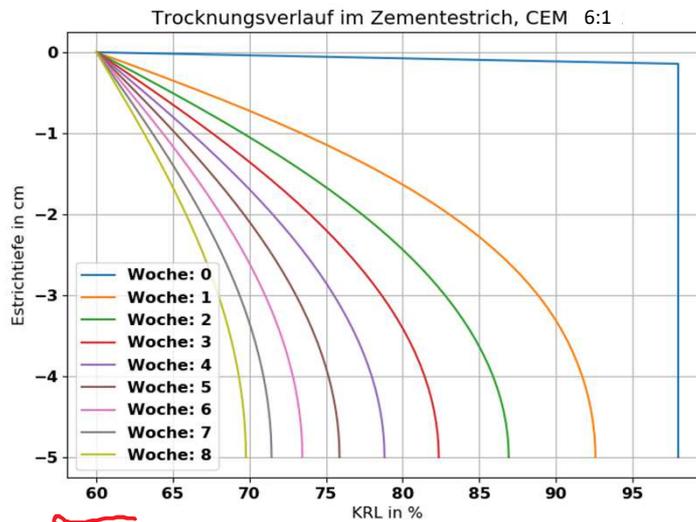
Zementestrich (CEM I, G/Z=6:1, w/z=0,55), Trocknungskurve und Feuchte-Messwerte



Zementestrich (CEM I, G/Z=6:1, w/z=0,55), Trocknungskurve und Feuchte-Messwerte

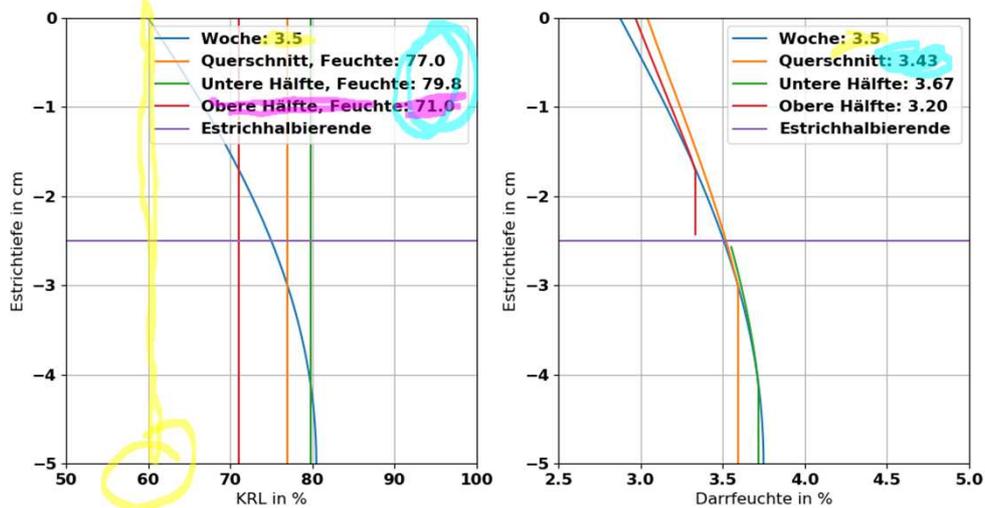


Startfeuchte Raumluf: 60 %



Zum Schluss möchte ich Ihnen zeigen, was passiert, wenn die Umgebung – also die Raumluf – nasser ist, also z.B. konstant um 60 % rLF:

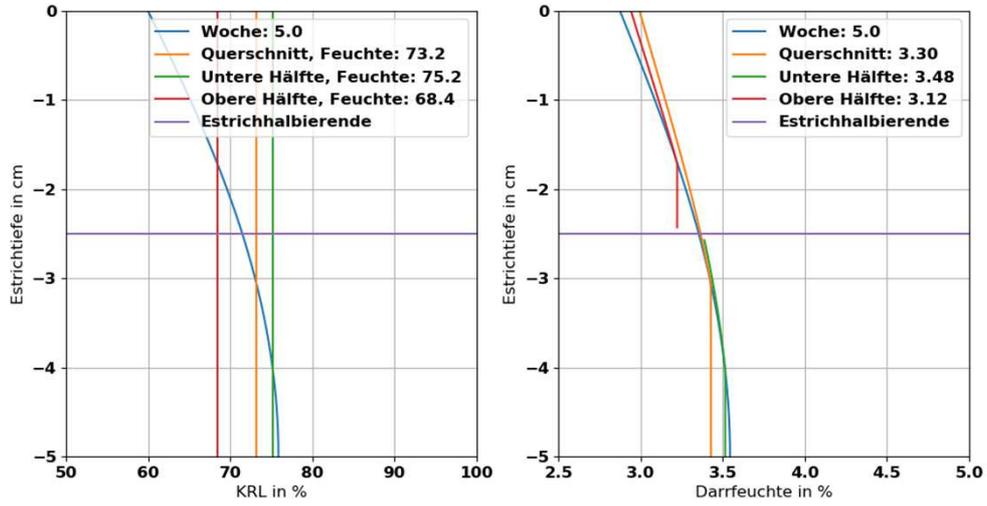
Zementestrich (CEM I, G/Z=6:1, w/z=0,55), Trocknungskurve und Feuchte-Messwerte



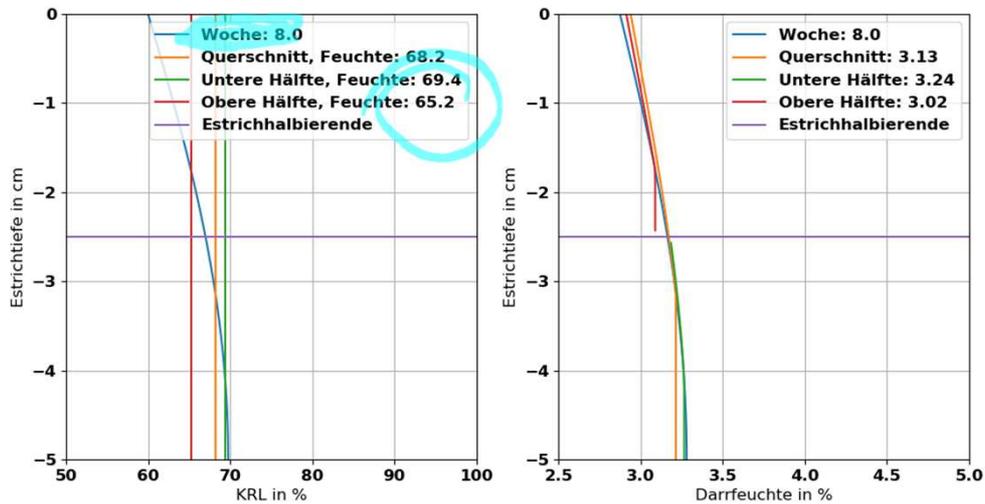
Nach 3,5 Wochen haben wir hier Werte, die im Querschnitt und auch in der unteren Hälfte im „trocken“ Bereich liegen.  
Durch die höhere Außenfeuchte ist jedoch der Wert in der oberen Hälfte recht hoch: 71 %.

Wenn man jetzt durch die Wochen weiter durchgeht ...

Zementestrich (CEM I, G/Z=6:1, w/z=0,55), Trocknungskurve und Feuchte-Messwerte



Zementestrich (CEM I, G/Z=6:1, w/z=0,55), Trocknungskurve und Feuchte-Messwerte



... sieht man, das man in der oberen Hälfte erst nach 8 Wochen den vorgeschlagenen Grenzwert unterschreitet.

Bei einer Probenahme aus der oberen Hälfte ist also immer zu berücksichtigen, wie das Raumklima ist.

## Grenz- bzw. Richtwerte

Außenfeuchte ca. **50** %

- Querschnitt: 75 %
- Untere Hälfte: 80 %
- Obere Hälfte: 65 %

Außenfeuchte ca. **60** %

- Querschnitt: 75 %
- Untere Hälfte: 80 %
- Obere Hälfte: ???

Zusammengefasst kann man zu Grenz- bzw. Richtwerten sagen:

Bei Probenahme aus dem Querschnitt ist 75 %, bei der unteren Hälfte 80 % ist eine gute Grenze.

Für die obere Hälfte sind bei einem trockenen Raumklima um 50 % und darunter die 65 % auch sicher. Bei höheren Feuchte kann letzteres jedoch zu langen Wartezeiten führen.

## Fazit

- **Geräte** haben sich bewährt.
- **KRL Messungen** funktionieren und sind aussagekräftig
- Durch die Arbeiten der letzten Jahre haben wir alle Daten, um das **Trocknungsverhalten von Estrichen** zu beschreiben
- Wie bei jeder Messung ist ein gut definierte Ausführung wichtig. Abweichungen in der Prozedur führen zu Abweichungen bei den Daten und müssen extra interpretiert werden => **Überarbeitet Vorschrift!!!**
- Der Unterschied zwischen einer Messung im Querschnitt und er unteren Hälfte liegt bei ca. **5 KRL-%**
- Nimmt man Proben aus der **oberen Hälfte**, sollte immer auch die **Raumluftfeuchte** mit beurteilt werden. Dieser Ort der Probenahme ist Empfindlich gegen Probenahmefehler!
- Alle Daten werden im **TKB Berichten** veröffentlicht.

Fazit:

**Geräte** haben sich bewährt.

**KRL Messungen** funktionieren und sind aussagekräftig

Durch die Arbeiten der letzten Jahre haben wir alle Daten, um das

**Trocknungsverhalten von Estrichen** zu beschreiben

Wie bei jeder Messung ist ein gut definierte Ausführung wichtig. Abweichungen in der Prozedur führen zu Abweichungen bei den Daten und müssen extra interpretiert werden => **Überarbeitet Vorschrift!!!**

Der Unterschied zwischen einer Messung im Querschnitt und er unteren Hälfte liegt bei ca. **5 KRL-%**

Nimmt man Proben aus der **oberen Hälfte**, sollte immer auch die **Raumluftfeuchte** mit beurteilt werden. Dieser Ort der Probenahme ist Empfindlich gegen Probenahmefehler!

Alle Daten werden im **TKB Berichten** veröffentlicht.



26. TKB Fachtagung  
"Klebstoffe in der Fußbodentechnik"  
17. März 2010, Frankfurt a.M.

Industrieverband  
Klebstoffe e.V.  
**TKB**

# Verlegereife und Feuchte

- Vorschläge der **TKB** zur  
**Messung der korrespondierenden  
Luftfeuchte** -

von Dr. Thomas Brokamp, Bona GmbH D,  
und der TKB AG „Verfahren zu Messung der Untergrundfeuchte“

2010 habe ich zum ersten Mal im Auftrag der TKB AG „Untergrundfeuchte“ vorgetragen.

Ich hatte damals darauf hingewiesen, dass wir hier eine Baustelle haben.



Nun, wir sind am Ende der Baustelle. Wir haben jetzt genug Wissen, um alle feuchterelevante Fragen beantworten zu können.

## TKB AG „Untergrundfeuchte“ Mitglieder



N. Arnold	Uzin
Th. Brokamp	Bona
F. Gahlmann	Stauf
J. Gehring	Bostik
M. Schäfer	Wakol
J. Sieksmeier	Ardex
H. Urbath	Henkel

Zum Schluss noch mein Dank an die Mitarbeiter der AG:

# Literatur und Quellen



- <http://www.klebstoffe.com/de/die-welt-des-klebens/informationen/publikationen/merkblaetter/bauklebstoffe-verlegewerkstoffe/berichte.html>
  - Dort: TKB Berichte 1, 2 und 3
- Alle Berechnungen und Plots: Python 3.6.4 in der Anaconda Distribution, Version 5.1; Release Date: February 15, 2018 (u.a. wurden folgende Module verwendet: numpy, pandas, matplotlib, scipy, spyder), <https://www.anaconda.com/download/>
- Untersuchungsbericht TuTech Innovation GmbH, G. Deckelmann, F. Schmidt-Döhl  
**Untersuchungen zum Feuchteaufnahme- und Feuchteabgabeverhalten ausgewählter Estrichbaustoffe**  
Datum: 9. Juni 2017  
Dokumentennummer: 2016-196

# Die Entwicklung der KRL-Methode

14.03.2007	23. TKB Fachtagung: Prof. Dr. Rieche, Bewertung der Belegreife von Estrichen mit hygrometrischen Verfahren.
15.03.2007	Im Nachgang zur Fachtagung fordert Dr. Krieger die Mitglieder auf, über weitere Aktivitäten zum Thema Feuchtemessung nachzudenken.
03.11.2007	TKB beschließt die Errichtung einer Arbeitsgruppe zu "Feuchtemessung" und "Untergrundfeuchte"
06.03.2008	Ziel: zunächst ein Papier zur Theorie, dann ggf. Ausarbeitung von Messmethoden
06.03.2008	Arbeiten laufen, neue Relevanz wegen CEM II Zemente Diskussion
18.03.2009	Präsentation der theoretischen Arbeit auf der 25. TKB Fachtagung: Verlegereife und Feuchte - Grundlagen
2009	Arbeitsgruppe trifft sich mehrfach, Ergebnis:
17.03.2010	Präsentation der KRL Messmethode auf der 26. TKB Fachtagung: Verlegereife und Feuchte - Vorschläge der TKB zur Messung der KRL
22.03.2011	27. TKB Fachtagung: Verlegereife und Feuchte, Teil 3, Die Trocknung von Estrichen - Vorstellung von Messergebnissen der Uni Siegen -
01.03.2012	TKB-Bericht 1: Belegereife und Feuchte - Versuche zur Trocknung von Estrichen -
01.07.2013	TKB Bericht 2: Belegereife und Feuchte, Die KRL-Methode zur Bestimmung der Feuchte in Estrichen
18.03.2015	31. TKB Fachtagung: G. Deckelmann: Alternative Feuchtemessmethoden zur Beurteilung der Belegreife von Estrichen
02.02.2016	TKB Bericht 3: Belegereife und Feuchte, Geeignete Messgeräte zur Feuchtebestimmung nach der KRL-Methode
03.03.2016	32. TKB Fachtagung: TKB Bericht 3: Geeignete Messgeräte zur Feuchtebestimmung nach der KRL-Methode
15.03.2017	33. TKB Fachtagung: A. Puchegger: Vergleich unterschiedlicher Messverfahren für die Beurteilung der Belegreife von Estrichen
14.03.2018	34. TKB Fachtagung: Vorträge Deckelmann / Brokamp
geplant: 2018	TKB Bericht 4: Belegereife und Feuchte, Sorptionsisothermen und die Interpretation von KRL-Messungen